

PRODUÇÃO DE RUMINANTES EM SISTEMAS INTEGRADOS

1º Edição



Alan Figueiredo de Oliveira
Lúcio Carlos Gonçalves

FEPE

Alan Figueiredo de Oliveira

Lúcio Carlos Gonçalves

**PRODUÇÃO DE
RUMINANTES EM
SISTEMAS
INTEGRADOS**

1º edição

Belo Horizonte

FEPE

2021

Capa: Brisa Márcia Rodrigues Sevidanes

Agradecimento à fazenda Canoas (Curvelo-Minas Gerais) pelas imagens cedidas para a capa do livro

Correção ortográfica: Professora Giovanna Spotorno Moreira

O48p Oliveira, Alan Figueiredo de.
Produção de ruminantes em sistemas integrados/ Alan Figueiredo de
Oliveira, Lúcio Carlos Gonçalves. - 1. ed.- Belo Horizonte: FEPE, 2021.

494 p.:il.

Bibliografia: p.: 22 - 493.
ISBN: 978-65-994630-0-6.
Formato: Livro Digital.

1. Agricultura - 2. Alimentos - 3. Agropecuária - 4. Produtos agrícolas - I. Oliveira, Alan Figueiredo de - II. Gonçalves, Lúcio Carlos - III. Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Veterinária - IV. Título.

CDD – 630

Bibliotecária responsável Cristiane Patrícia Gomes – CRB2569

PREFÁCIO

Quando se fala em produção agropecuária diz-se de práticas e modelos de produção que estão presentes no ideário de todas as pessoas. De forma bucólica, em harmonia com o ambiente, ou em modelos de elevada produtividade e artificialização do meio, com o uso intensivo de tecnologias e de capitais, todos tem uma concepção de produção agrícola e pecuária. Compor o ideário da população em geral já demonstra a importância deste setor produtivo para a sociedade.

Além do abastecimento de alimentos, a agropecuária tornou-se basilar para a sustentação dos modelos produtivos modernos. Por mais que a indústria e o setor de serviços tenham ganhado importância e espaço na economia, a agropecuária nunca deixou de ser estratégica para a viabilidade dos modelos produtivos e a própria sustentação do crescimento econômico. O que não é diferente no Brasil.

A produção agropecuária marca a sociedade brasileira a partir da consecução da empresa agropecuária ligada a produção da cana-de-açúcar na fase de colonização. Notadamente a empresa colonial se deu a partir da produção agropecuária. Ao lado da sociedade do açúcar surgiu a sociedade do couro. Assim, as produções agrícola e pecuária passaram a se desenvolver de forma paralela. Mas em momento algum foram prescindidas para o desenvolvimento social e econômico do país.

Porém, as mudanças implementadas a partir do processo de modernização agropecuária mundialmente após a segunda guerra mundial, fez com que houvesse distanciamento progressivo da produção agrícola da produção animal. Sob o prisma da especialização estas duas dimensões que compõem a agropecuária passaram a serem desenvolvidas de forma individual nos sistemas de produção. Ao mesmo tempo os sistemas passaram a necessitar crescentemente da utilização de insumos e aumentaram a dependência de mercados específicos. Em muitos casos representando instabilidade econômica e limites quanto a produtividade global da agropecuária.

Do ponto de vista econômico, aumentos na produtividade agrícola forçam a produção animal a ganhar eficiência. De modo que o aumento da produtividade das culturas vegetais no Brasil, nos últimos trinta anos, pressionou o aumento da produtividade da pecuária. Situação que tem maior impacto na produção de ruminantes em pasto, dada a dimensão territorial ocupada por esta atividade. A busca pela maior produtividade da terra levou a inserção de animais com maior capacidade de produção,

de carne ou leite, mas também ao aumento da densidade animal nos sistemas de produção. Neste contexto é requerida maior produtividade das pastagens. Esta foi respondida em parte pela introdução de gramíneas exóticas ou melhoradas, notadamente do gênero *Urochloa* e *Magathyrus*. Novos arranjos produtivos a partir da correção do solo e adubação das pastagens, divisão e rotação das pastagens, compuseram o quadro de maior produtividade da pecuária em pasto.

Mas as mudanças no plano econômico progressivamente forçam a busca constante pelo aumento da produção agropecuária. Os limites a abertura de novas áreas para a produção agropecuária sinalizam que o aumento da produção agrícola se dará pelo aumento da produtividade do solo. De modo que o paradigma da produtividade transita da avaliação de culturas individuais para análises que envolvem a produtividade global dos sistemas de produção. Em que são toleradas reduções na produtividade das culturas individuais em prol do aumento da produtividade total do solo.

É neste contexto que surgiu a necessidade de rearranjo dos sistemas produtivos visando a utilização integral das áreas agricultáveis. Momento em que se evidenciou a importância da integração da produção agrícola à pecuária, para aumento da produtividade global da agropecuária. Estratégias de integração lavoura-pecuária e lavoura- floresta-pecuária se destacam para a resposta a algumas questões produtivas postas à agropecuária. Representam diversificação das fontes de renda e contribuem para a ocupação integral do solo com a maximização da produção dos sistemas. A produção integrada permite ainda a criação de estratégias que escalonam as receitas, em curto, médio e longo prazo.

Mas a atualidade guarda um novo desafio para a produção agropecuária, a questão ambiental, sintetizada pelo prisma da sustentabilidade. Ao lado da maior eficiência dos sistemas produtivos é crescente a preocupação com a sustentabilidade da agropecuária. A sustentabilidade é um novo paradigma produtivo que hora é vista como redução dos impactos ambientais e em outros como maior eficiência na utilização dos recursos naturais. Tangencialmente se atenta também para os impactos sociais da atividade. Situação que em conjunto requer da agropecuária novas estratégias produtivas.

Desta conjuntura emergem os sistemas integrados como modelos produtivos que apresentam potencialidade para responder a estas múltiplas questões da atualidade. A diversificação dos sistemas de produção promovida pela produção integrada tem

potencial para contribuir com a maior produtividade do solo, diversificação econômica e maior sustentabilidade da produção agropecuária. Suas características intrínsecas apontam a maior resistência a condições adversas, sejam estas econômicas ou ligadas as variações climáticas. Reafirmando o potencial positivo dos sistemas integrados para a produção agropecuária nacional.

Porém, por mais que a pesquisa tenha avançado nos últimos anos, pouco se conhece dos aspectos biológicos dos sistemas integrados, suas potencialidades e limites para a agropecuária ainda não estão bem esclarecidos. É neste sentido que a presente obra se torna importante para a compreensão da diversidade, potenciais e limites da produção integrada. Ao mesmo tempo que resgata o princípio tradicional da produção animal-vegetal consorciada, a obra os alinha a técnicas modernas e a necessidade contemporânea do aumento da produtividade. Em uma proposta ampla, a cada capítulo, são descortinados novos vieses de análise da produção integrada. Dos seus princípios ao seu impacto no clima, de seus limites produtivos ao seu potencial para a diversificação econômica, da economia de água à ciclagem de nutrientes, do bem estar animal à maior produtividade global dos sistemas, este livro se coloca como basilar para técnicos e pesquisadores que se dispõem a introdução destes modelos produtivos a campo. Sem compromissos prévios com a defesa ou a crítica, os autores apresentam material que possibilita ao leitor acesso a ampla revisão crítica de informações científicas envolvendo a produção integrada, com foco na produção de ruminantes, em ambiente tropical.

Prof. Matheus Anchieta Ramirez

Autores

Alan Figueiredo de Oliveira

Técnico em Zootecnia – IFET Campus Rio Pomba (2011); Médico Veterinário – EV-UFMG (2018); Mestre em Zootecnia (Produção de Ruminantes) – EV-UFMG (2020); Doutorando em Zootecnia (Produção de Ruminantes) – EV-UFMG.

Ângela Maria Quintão Lana

Agrônoma - UFV (1988); Mestre e Doutora em Genética e Melhoramento – UFV (1996); Pós doutorado - University of Florida (2014); Professora Titular da EV-UFMG.

Brisa Márcia Rodrigues Sevidanes

Graduanda em Medicina Veterinária EV-UFMG.

Daniela Aparecida Barroso Siste

Zootecnista – UFV (1997); Mestre em Zootecnia (Nutrição de ruminantes) – EV-UFMG (2001); Doutoranda em Zootecnia (Produção de Ruminantes) – EV-UFMG.

Daniel Ferreira Mello de Oliveira

Médico Veterinário – EV-UFMG (2020); Mestrando em Zootecnia (Nutrição de Ruminantes) – EV-UFMG.

Diogo Gonzaga Jayme

Médico Veterinário – EV-UFMG (2001); Mestre em Zootecnia (Nutrição de Ruminantes) – EV-UFMG (2003); Doutor em Zootecnia (Nutrição de Ruminantes) – EV-UFMG (2007); Professor Associado da EV-UFMG.

Frederico Patrus Ananias de Assis Pires

Médico Veterinário – EV-UFMG (2018); Mestre em Zootecnia (Nutrição de Ruminantes) – EV-UFMG (2020); Doutorando em Zootecnia (Nutrição de Ruminantes) – EV-UFMG.

Guilherme Lobato Menezes

Médico Veterinário – PUC-MG (2014); Mestre em Zootecnia (Nutrição de Ruminantes) – EV-UFMG (2020); Doutorando em Zootecnia (Nutrição de Ruminantes) – EV-UFMG.

Gustavo Henrique Silva Camargos

Graduando em Medicina Veterinária EV-UFMG.

João Vitor Araújo Ananias

Graduando em Medicina veterinária - FUNORTE

Lúcio Carlos Gonçalves

Agrônomo - UFV (1974); Mestre em Zootecnia – EV-UFMG (1977); Doutor em Zootecnia – UFV (1987); Professor Titular da EV-UFMG.

Matheus Anchieta Ramirez

Técnico em Agropecuária – CEDAF Campus Florestal (2002); Médico Veterinário – EV-UFMG (2008); Mestre em Zootecnia (Nutrição de Ruminantes) – EV-UFMG (2010); Doutor em Zootecnia (Nutrição de Ruminantes) – EV-UFMG (2011); Professor Associado da EV-UFMG.

Pamella Grossi de Sousa

Técnica em Zootecnia – IFET Campus Rio Pomba (2013); Zootecnista – IFET Campus Rio Pomba (2018); Mestre em Zootecnia (Nutrição de Ruminantes) – EV-UFMG (2020) e Doutoranda em Zootecnia (Nutrição de Ruminantes) – EV-UFMG.

Rafael Araújo de Menezes

Médico Veterinário – EV-UFMG (2018); Mestrando em Zootecnia (Nutrição de Ruminantes) – EV-UFMG.

SUMÁRIO

Capítulo 1 - SITUAÇÃO ATUAL E DESAFIOS DOS SISTEMAS INTEGRADOS

Alan Figueiredo de Oliveira; Ângela Maria Quintão Lana; Lúcio Carlos Gonçalves; Matheus Anchieta Ramirez; Pamella Grossi de Sousa; Frederico Patrus Ananias de Assis Pires; Rafael Araújo de Menezes; Guilherme Lobato Menezes **1**

Capítulo 2 - CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS DAS PASTAGENS EM SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO PECUÁRIA-FLORESTA

Alan Figueiredo de Oliveira; Ângela Maria Quintão Lana; Lúcio Carlos Gonçalves; Matheus Anchieta Ramirez; Pamella Grossi de Sousa; Frederico Patrus Ananias de Assis Pires; Rafael Araújo de Menezes; Guilherme Lobato Menezes **26**

Capítulo 3 - VALOR NUTRITIVO DAS PASTAGENS EM SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO PECUÁRIA-FLORESTA

Alan Figueiredo de Oliveira; Ângela Maria Quintão Lana; Lúcio Carlos Gonçalves; Matheus Anchieta Ramirez; Pamella Grossi de Sousa; Frederico Patrus Ananias de Assis Pires; Rafael Araújo de Menezes; Guilherme Lobato Menezes **49**

Capítulo 4 - UTILIZAÇÃO DE LEGUMINOSAS EM SISTEMAS INTEGRADOS

Guilherme Lobato Menezes; Diogo Gonzaga Jayme; Alan Figueiredo de Oliveira; Lúcio Carlos Gonçalves; Matheus Anchieta Ramirez; Pamella Grossi de Sousa; Frederico Patrus Ananias de Assis Pires; Rafael Araújo de Menezes **69**

Capítulo 5 - DESEMPENHO DE GADO DE CORTE EM SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO PECUÁRIA-FLORESTA

Alan Figueiredo de Oliveira; Ângela Maria Quintão Lana; Lúcio Carlos Gonçalves; Matheus Anchieta Ramirez; Pamella Grossi de Sousa; Frederico Patrus Ananias de Assis Pires; Rafael Araújo de Menezes; Guilherme Lobato Menezes **93**

Capítulo 6 - DESEMPENHO DE GADO LEITEIRO EM SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO PECUÁRIA-FLORESTA	
<i>Alan Figueiredo de Oliveira; Ângela Maria Quintão Lana; Lúcio Carlos Gonçalves; Matheus Anchieta Ramirez; Pamella Grossi de Sousa; Frederico Patrus Ananias de Assis Pires; Rafael Araújo de Menezes; Guilherme Lobato Menezes</i>	109
<hr/>	
Capítulo 7 – ESTRESSE TÉRMICO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE RUMINANTES EM CLIMA TROPICAL	
<i>Rafael Araújo de Menezes; Matheus Anchieta Ramirez; Lúcio Carlos Gonçalves; Alan Figueiredo de Oliveira; Frederico Patrus Ananias de Assis Pires; Guilherme Lobato Menezes; Pamella Grossi de Sousa; Brisa Márcia Rodrigues Sevidanes</i>	130
<hr/>	
Capítulo 8 - DESEMPENHO VEGETAL EM SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA	
<i>Pamella Grossi de Sousa, Diogo Gonzaga Jayme, Lúcio Carlos Gonçalves, Alan Figueiredo de Oliveira, Rafael Araújo de Menezes, Guilherme Lobato Menezes, Frederico Patrus Ananias de Assis Pires, Matheus Anchieta Ramirez</i>	160
<hr/>	
Capítulo 9 - DESEMPENHO DE BOVINOS EM SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA	
<i>Pamella Grossi de Sousa, Diogo Gonzaga Jayme, Lúcio Carlos Gonçalves, Alan Figueiredo de Oliveira, Rafael Araújo de Menezes, Guilherme Lobato Menezes, Frederico Patrus Ananias de Assis Pires, Matheus Anchieta Ramirez</i>	182
<hr/>	
Capítulo 10 - CAPACIDADE DE USO DOS SOLOS EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO INTEGRADOS	
<i>Frederico Patrus Ananias de Assis Pires; Matheus Anchieta Ramirez; Lúcio Carlos Gonçalves; Alan Figueiredo de Oliveira; Rafael Araújo de Menezes; Guilherme Lobato Menezes; Pamella Grossi de Sousa; Gustavo Henrique Silva Camargos</i>	203

Capítulo 11 - EMISSÃO E PRODUÇÃO DE GASES DO EFEITO ESTUFA NA PECUÁRIA

Frederico Patrus Ananias de Assis Pires; Matheus Anchieta Ramirez; Lúcio Carlos Gonçalves; Alan Figueiredo de Oliveira; Rafael Araújo de Menezes; Guilherme Lobato Menezes; Pamella Grossi de Sousa; Daniel Ferreira Mello de Oliveira **230**

Capítulo 12 – ESTRATÉGIAS DE MITIGAÇÃO DA PRODUÇÃO DE GASES DO EFEITO ESTUFA E OS SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO

Frederico Patrus Ananias de Assis Pires; Matheus Anchieta Ramirez; Lúcio Carlos Gonçalves; Alan Figueiredo de Oliveira; Rafael Araújo de Menezes; Guilherme Lobato Menezes; Pamella Grossi de Sousa; João Vitor Araújo Ananias **256**

Capítulo 13 - ESTOQUES DE CABONO EM SISTEMAS AGROPECUÁRIOS OCUPADOS COM PASTAGEM E LAVOURA

Alan Figueiredo de Oliveira; Ângela Maria Quintão Lana; Lúcio Carlos Gonçalves; Matheus Anchieta Ramirez; Pamella Grossi de Sousa; Frederico Patrus Ananias de Assis Pires; Rafael Araújo de Menezes; Guilherme Lobato Menezes **291**

Capítulo 14 - ESTOQUES DE CABONO EM AGROFLORESTAS E AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA EM SISTEMAS AGROPECUÁRIOS

Alan Figueiredo de Oliveira; Ângela Maria Quintão Lana; Lúcio Carlos Gonçalves; Matheus Anchieta Ramirez; Pamella Grossi de Sousa; Frederico Patrus Ananias de Assis Pires; Rafael Araújo de Menezes; Guilherme Lobato Menezes **335**

Capítulo 15 - COMO REALIZAR A ANÁLISE ECONÔMICA DE SISTEMAS INTEGRADOS

Guilherme Lobato Menezes; Diogo Gonzaga Jayme; Alan Figueiredo de Oliveira; Lúcio Carlos Gonçalves; Matheus Anchieta Ramirez; Pamella Grossi de Sousa; Frederico Patrus Ananias de Assis Pires; Rafael Araújo de Menezes **361**

Capítulo 16 – PLANEJAMENTO E GESTÃO POR INDICADORES EM SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO

380

*Guilherme Lobato Menezes; Diogo Gonzaga Jayme; Alan Figueiredo de Oliveira;
Lúcio Carlos Gonçalves; Matheus Anchieta Ramirez; Pamella Grossi de Sousa;
Frederico Patrus Ananias de Assis Pires; Rafael Araújo de Menezes*

Capítulo 17 - EXTENSÃO RURAL E SUAS CONEXÕES COM OS SISTEMAS INTEGRADOS

396

*Alan Figueiredo de Oliveira; Ângela Maria Quintão Lana; Lúcio Carlos
Gonçalves; Matheus Anchieta Ramirez; Pamella Grossi de Sousa; Frederico Patrus
Ananias de Assis Pires; Rafael Araújo de Menezes; Guilherme Lobato Menezes*

Capítulo 18 - ÓRGÃOS E POLÍTICAS PÚBLICAS SOBRE OS SISTEMAS INTEGRADOS

421

*Rafael Araújo de Menezes; Matheus Anchieta Ramirez; Lúcio Carlos Gonçalves;
Alan Figueiredo de Oliveira; Frederico Patrus Ananias de Assis Pires; Guilherme
Lobato Menezes; Pamella Grossi de Sousa; Brisa Márcia Rodrigues Sevidanes*

Capítulo 19 - OS SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO DIANTE DA EXIGÊNCIA DA SUSTENTABILIDADE

451

*Matheus Anchieta Ramirez; Alan Figueiredo de Oliveira; Daniela Aparecida
Barroso Siste; Lúcio Carlos Gonçalves; Pamella Grossi de Sousa; Frederico
Patrus Ananias de Assis Pires; Rafael Araújo de Menezes; Guilherme Lobato
Menezes*

CAPÍTULO 1

SITUAÇÃO ATUAL E DESAFIOS DOS SISTEMAS INTEGRADOS

*Alan Figueiredo de Oliveira; Ângela Maria Quintão Lana; Lúcio Carlos Gonçalves;
Matheus Anchieta Ramirez; Pamella Grossi de Sousa; Frederico Patrus Ananias de
Assis Pires; Rafael Araújo de Menezes; Guilherme Lobato Menezes*

RESUMO

A população mundial cresceu ao longo das últimas décadas e deve chegar a 9,7 bilhões de pessoas em 2050. A sociedade atual vive o desafio de aumentar a produção de alimentos e de produtos agropecuários para abastecer essa população em crescimento, bem como promover a preservação dos recursos naturais para as futuras gerações. O setor agropecuário em todo o mundo passa a ser cobrado por melhores índices produtivos e ambientais. Os sistemas integrados de produção agropecuária são sistemas mais diversificados, que integram diferentes espécies vegetais e animais em diferentes arranjos, com o objetivo de maximizar o sinergismo entre esses componentes. Essa interação entre os componentes e o manejo do sistema influenciam o desempenho produtivo e o balanço de carbono do agroecossistema. Os sistemas integrados no Brasil, como a integração lavoura-pecuária e a integração pecuária-floresta, apresentam muitos benefícios comprovados na literatura. Entretanto, é necessário melhorar os serviços de assistência técnica e de extensão rural e as políticas públicas para o meio agrário, a fim de aumentar a divulgação e a adoção desses sistemas no país.

INTRODUÇÃO

A sociedade tem passado por grandes transformações na organização das populações no território, no ritmo de crescimento populacional, no padrão de consumo e na produção e distribuição de renda entre as pessoas. Nessa nova configuração social, a agropecuária tem a função de produzir alimentos, fibras, combustíveis e matéria-prima para subsidiar o desenvolvimento das populações. Uma das maiores preocupações do homem nesse processo de desenvolvimento é garantir a produção desses itens indispensáveis para a sociedade harmoniosamente com a preservação dos recursos naturais. A agropecuária mundial foi aprimorada ao longo da história por meio da especialização e artificialização dos processos produtivos, com o objetivo de alcançar sempre a máxima produção. Entretanto, esse modelo com alta demanda por insumos

externos, baixa diversificação de espécies e pouca preocupação ambiental não é capaz de garantir os anseios da sociedade atual de promover um desenvolvimento rural que se sustente ao longo das futuras gerações.

Em 1988 foi criado o Painel Intergovernamental em Mudança Climática (IPCC- Intergovernmental Panel on Climate Change) por um esforço conjunto do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (United Nations Environment Programme-UNEP) e da Organização Mundial de Meteorologia (WMO-World Meteorological Organization). O objetivo do IPCC é preparar revisões e recomendações científicas sobre as mudanças climáticas, os impactos sociais e econômicos dessas mudanças e as estratégias potenciais de resposta e elementos para inclusão em futuras convenções do clima (IPCC, 2020). O IPCC é uma das maiores ações globais para tratar as questões climáticas e propor soluções realísticas para as diferentes partes do planeta.

No cenário nacional brasileiro, o real enfrentamento dos problemas ambientais ganhou força em 2009, com a promulgação da Lei nº 12.187. Essa lei estabeleceu a Política Nacional de Mudança do Clima (PNMC), que previa o estabelecimento de Planos Setoriais de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas visando à consolidação de uma economia de baixo consumo de carbono em vários setores da economia. Além disso, durante a 15ª Conferência das Partes (COP-15), o governo brasileiro anunciou voluntariamente a redução entre 36,1 e 38,9% das emissões de gases do efeito estufa (GEE) projetadas para 2020. Foi, então, criado o Programa ABC (Agricultura de Baixo Carbono), que estabelecia objetivos, normas e diretrizes para alcançar essa meta. O programa ABC previa a recuperação de 15,0 milhões de ha de pastagens degradadas (mitigação de 83 a 104 milhões Mg CO₂ eq.), a adoção de 4,0 milhões de ha de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) (mitigação de 18 a 22 milhões Mg CO₂ eq.), a adoção de 8,0 milhões de ha de plantio direto (mitigação de 16 a 20 milhões Mg CO₂ eq.), a adoção de 5,5 milhões de ha de fixação biológica de nitrogênio (mitigação de 10 milhões Mg CO₂ eq.), o plantio de 3,0 milhões de ha de floresta plantada (mitigação de 8 a 10 milhões Mg CO₂ eq.), o tratamento de 4,4 milhões de m³ de dejetos animais (mitigação de 6,9 milhões Mg CO₂ eq.) e a adoção das outras tecnologias em uma área de 35,5 milhões de ha (mitigação de 132,9 a 162,9 milhões Mg CO₂ eq.) (MAPA, 2012; MAPA, 2018; MAPA, 2020).

A degradação dos recursos naturais por meio do desmatamento, da poluição dos recursos hídricos, das emissões de gases tóxicos para a atmosfera, da desertificação e do efeito estufa é uma grande preocupação da sociedade científica mundial acerca da

sustentabilidade do planeta (Godfray *et al.*, 2010). Esses processos são impactados diretamente pelos sistemas agropecuários mal manejados, que não se preocupam com a preservação ambiental. Entretanto, em razão dos impactos ambientais graves em todo o mundo, o agravamento do efeito estufa pelas emissões de GEE pela agropecuária vem recebendo atenção especial. Nesse contexto, novos conhecimentos e tecnologias são demandados pelo setor agropecuário, com o intuito de mitigar essas emissões. O plantio direto, os sistemas integrados, o melhoramento genético, a melhoria dos índices produtivos, o aumento da eficiência das adubações, a utilização de espécies fixadoras biológicas de nitrogênio e a intensificação da agropecuária são algumas dessas tecnologias capazes de conciliar a produção agropecuária com a preservação ambiental.

Os sistemas integrados de produção de ruminantes são mais diversificados e geralmente mais eficientes que os sistemas especializados. A integração entre os componentes animal, vegetal e florestal pode assumir diferentes arranjos e esquemas de rotação. A interação entre esses componentes geralmente resulta em benefícios mútuos dentro dos sistemas. Esse sinergismo entre componentes é a principal justificativa para que esses sistemas sejam superiores àqueles baseados no monocultivo (Alves *et al.*, 2017). Além da maior eficiência técnica, esses sistemas são capazes de gerar benefícios socioeconômicos e serviços ambientais, como a maior retenção hídrica, a menor erosão do solo, a menor perda de solo agrícola, o maior sequestro de carbono no solo e na biomassa aérea, a menor emissão de GEE pelo solo e pelos animais, a redução da pressão por desmatamento para abertura de novas áreas agrícolas, a quebra de ciclo de pragas, o aumento e a diversificação da renda, a maior geração de empregos, a redução do êxodo rural e a maior produção de alimentos.

A intensificação da agropecuária e a melhoria dos indicadores técnicos e produtivos, mesmo que nos sistemas convencionais, são outros fatores fundamentais no processo de melhoria dos indicadores ambientais nacionais. A agropecuária nacional contém sistemas com altos níveis de produtividade, entretanto ainda são comuns sistemas extensivos com baixa produtividade, que reduzem a média nacional. O aumento da eficiência produtiva pode ser atingido por meio de abordagens de caráter genético, sanitário e nutricional dos rebanhos. Entre as consequências dessas abordagens observa-se a elevação da produção de leite e de carne dos rebanhos e a redução das emissões de metano entérico. Essas ações produtivas simples podem reduzir os impactos ambientais da agropecuária (Cerri *et al.*, 2018).

A melhoria dos indicadores produtivos e ambientais da agropecuária brasileira e o aumento da adoção dos sistemas integrados enfrentam inúmeros desafios no Brasil. A formação agrária brasileira, que muitas vezes atuou na concentração fundiária, é um dos fatores que impede a utilização da terra para fins produtivos e opera como um empecilho para a produção agropecuária nacional. Outro grande desafio é o sistema de assistência técnica e de extensão rural (ATER) no Brasil, que enfrenta enormes problemas, desde a formação dos extensionistas até a estruturação de um sistema que atenda adequadamente todos os produtores agropecuários do país. Objetivou-se, com este capítulo, descrever o contexto atual e os desafios dos sistemas integrados de produção agropecuária.

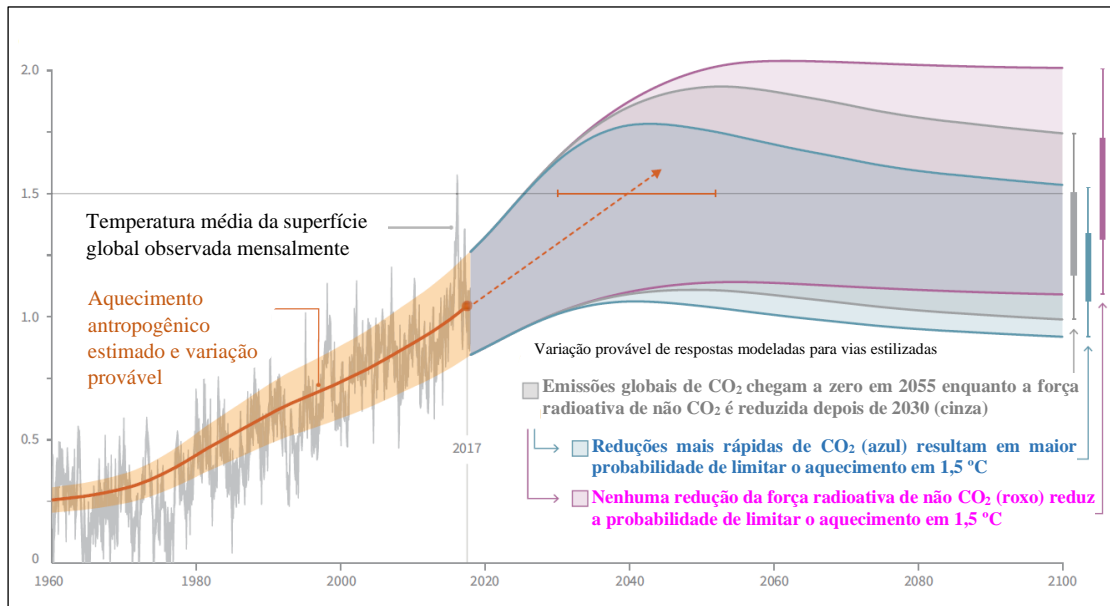
EFEITO ESTUFA E EMISSÕES DE GEE NA AGROPECUÁRIA

Efeito estufa

O padrão de desenvolvimento da sociedade após a Revolução Industrial mudou as interações entre o homem e o ambiente. Além do aumento das emissões de GEE, as mudanças no padrão de consumo e no modo de vida das populações também geraram forte impacto no ambiente. O mundo moderno apresenta alto padrão de conectividade, alto nível de cobrança por produtividade e generalização do consumo de bens industrializados. Entretanto, para suportar esse padrão de consumo, a espécie humana tem desenvolvido um modelo de exploração dos recursos ambientais insustentável em longo prazo. Entre os mais variados impactos ambientais negativos causados por essa pressão antrópica sobre o ambiente, o aquecimento global provocado pela intensificação do efeito estufa é um dos fenômenos com maior potencial de prejudicar a humanidade.

O efeito estufa é um fenômeno natural da atmosfera terrestre e essencial para a manutenção da vida no planeta Terra. Os GEE são gases capazes de absorver a energia solar e aquecer o ambiente. Esse mecanismo é responsável por manter a temperatura da Terra em níveis adequados para o desenvolvimento da vida. Entretanto, a mudança no padrão de vida da sociedade também modificou o padrão de emissão desses gases, principalmente dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O) e clorofluorcarbonos. O aumento das emissões desses gases por diferentes setores da sociedade tem sido responsabilizado como a principal causa do aquecimento global. Segundo um relatório do IPCC de 2018, a temperatura da Terra pode aumentar 1,5 °C até 2050 e gerar impactos negativos importantes para a sociedade humana (Figura 1).

Figura 1. Mudança na temperatura global observada e resposta projetada para as emissões antropogênicas



Fonte: Adaptado de IPCC (2018).

O aumento da temperatura terrestre pode gerar diferentes impactos de acordo com a localização geográfica. Entre esses impactos, citam-se os picos de calor em locais habitados, as tempestades e a probabilidade de secas em determinadas regiões, bem como o aumento do nível e da temperatura do mar. Citam-se ainda os possíveis impactos na biodiversidade e nos ecossistemas, como a extinção de espécies e os riscos à saúde, à segurança alimentar, ao suprimento de água e ao crescimento econômico. O enfrentamento desses problemas requer mudanças de posturas de todos os setores da sociedade. A utilização de fontes renováveis de energia, a ampliação das redes e da utilização de transporte públicos, a mudança no padrão industrial de consumo, a ampliação dos sistemas de tratamento de esgoto, a redução do desmatamento e das queimadas, o desenvolvimento de sistemas agrícolas com menores impactos ambientais negativos e a racionalização da utilização de insumos agrícolas são exemplos de medidas capazes de mitigar os efeitos das ações antrópicas sobre o ambiente.

O setor agropecuário é um dos principais responsáveis pelas emissões de GEE no mundo. A queima de combustíveis fósseis por máquinas agrícolas, o desmatamento, as queimadas, as emissões de metano entérico por ruminantes, as emissões de óxido nitroso pelo solo e a redução dos estoques de carbono no solo são alguns dos impactos ambientais provocados pelo setor agropecuário no ambiente. Entretanto, novas tecnologias estão

sendo desenvolvidas em todo o mundo para reduzir esses impactos negativos no ambiente.

Emissões de GEE na agropecuária

As emissões de GEE, principalmente de CO₂, CH₄ e N₂O, pela agropecuária são responsáveis por parte das mudanças climáticas do planeta. Segundo relatório do IPCC de 2019, as atividades de agricultura, de floresta e de outros usos do solo (AFOLU, sigla em inglês para *agriculture, forestry and other land use*) contribuíram com aproximadamente 13% das emissões de CO₂, 44% das de CH₄ e 81% das de N₂O no período de 2007 a 2016 (Tabela 1). Essas emissões representaram 23% (12 Gt CO₂ eq./ano) das emissões antropogênicas totais de GEE.

Tabela 1. Emissões antropogênicas devido à agricultura, à floresta e a outros usos do solo (AFOLU) e não AFOLU, no período de 2007 a 2016

Gás	Fonte das emissões antropogênicas			Emissões antropogênicas totais (EAT)	
	AFOLU		Total (C=A+B)	Não AFOLU	
	FOLU (A)	Agricultura (B)		D	E=C+D
CO ₂ (Gt CO ₂ /ano)	5,20	Sem dado	5,2	33,9	39,1
CH ₄ (Mt CH ₄ /ano)	19,20	142,0	161,0	201,0	362,0
N ₂ O (Mt N ₂ O/ano)	0,50	4,0	4,5	5,6	10,1
N ₂ O (Gt CO ₂ eq./ano)	0,30	8,3	8,7	2,0	10,6
N ₂ O (Gt CO ₂ eq./ano)	0,09	2,2	2,3	0,5	2,8
Total (Gt CO ₂ eq./ano)	5,80	6,2	12,0	40,0	52,0

Fonte: Adaptado de IPCC (2019). AFOLU = emissões da agricultura, da floresta e de outros usos do solo; F = emissões da floresta e de outros usos do solo (A); B = emissão da agricultura; C = emissões totais; D = emissões que não são da agricultura, da floresta e de outros usos do solo; E = emissões antropogênicas totais.

Nesse mesmo relatório, foi citado que algumas práticas agrícolas – como aumento da matéria orgânica no solo, controle da erosão, melhor manejo da fertilização e das culturas – e algumas práticas pecuárias – como melhor manejo dos solos com pastagens, melhor manejo de dejetos, aumento da qualidade das dietas e uso de cruzamentos e melhoramento genético – são capazes de auxiliar na mitigação das emissões dos GEE. Além disso, essas práticas apresentam diferentes potenciais de mitigação, adaptação, desertificação, degradação do solo, segurança alimentar e custos. O conhecimento dessas variáveis é fundamental no balizamento de políticas públicas e na adoção dessas práticas

agropecuárias em várias partes do mundo. Fica evidente também que o combate às mudanças climáticas precisa ser assumido como compromisso por todos os setores da sociedade e não apenas pelo setor agropecuário.

MODALIDADES DE SISTEMAS INTEGRADOS

Os sistemas integrados de produção agropecuária podem ser definidos como o cultivo simultâneo, rotativo ou em sucessão de diferentes espécies vegetais e animais, que objetivam a maximização dos resultados decorrentes do sinergismo entre componentes, considerando-se a preservação ambiental, a viabilidade econômica e a valorização do homem (Macedo, 2009; Balbino *et al.*, 2011; Vilela *et al.*, 2011). De acordo com as espécies utilizadas e com as estratégias de integração, os sistemas podem ser classificados em:

- sistema agropastoril ou integração lavoura-pecuária (ILP). Esse sistema integra diferentes estratégias de rotação entre espécies vegetais utilizadas em lavouras e espécies animais. A definição das estratégias de rotação depende das características de cada propriedade. Os sistemas mais empregados de ILP são o Barreirão (utilizado para renovação de pastagens, quando o solo geralmente passa por correção de acidez, aragem e gradagem e a pastagem é plantada em consórcio com a lavoura com doses adequadas de adubos); o São Mateus (também considerado um sistema para recuperação da produtividade de pastagens, que consiste no plantio consorciado de lavoura e forrageira e posterior utilização do pasto por dois a quatro anos, após o qual o pasto é novamente recuperado com a integração da lavoura com a forrageira); o Santa Fé (cultivo consorciado de culturas graníferas, como milho e soja, com forrageiras, como *Urochloa* sp. e *Megathyrsus* sp.); e o Santa Brígida (cultivo triplo entre milho, *Urochloa* sp. e leguminosas);

- sistema silvipastoril ou integração pecuária-floresta (IPF). Esse sistema integra diferentes estratégias de rotação entre espécies animais e espécies arbóreas nativas ou exóticas. A definição das estratégias de rotação depende das características de cada propriedade. A principal variação dos sistemas é relacionada à densidade arbórea empregada. Geralmente, em sistemas nos quais o objetivo principal é a produção animal, utilizam-se menores densidades arbóreas, e naqueles em que o objetivo é a produção madeireira, são usadas maiores densidades arbóreas;

- sistema silviagrícola ou integração lavoura-floresta (ILF). Esse sistema integra diferentes estratégias de rotação entre espécies vegetais utilizadas em lavouras e espécies

arbóreas nativas ou exóticas. Geralmente esse sistema faz parte da etapa inicial da ILPF, na qual as árvores em fase inicial de desenvolvimento são consorciadas com a lavoura;

- sistema agrossilvipastoril ou integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF). Esse sistema integra diferentes estratégias de rotação entre espécies vegetais utilizadas em lavouras, espécies animais e espécies arbóreas nativas ou exóticas. A maioria dos sistemas não integra simultaneamente esses três componentes. Geralmente a fase inicial é composta pela ILF e, quando as árvores apresentam bom desenvolvimento e não são danificadas pelos animais, é plantado pasto, e o sistema se transforma em IPF.

ASPECTOS DA ILP

Estoque de carbono

Os estoques de carbono em sistemas de ILP variam principalmente devido à estratégia de rotação entre lavoura e animal. De forma geral, os sistemas que intercalam anos de lavoura com anos de pastagem apresentam maiores estoques de carbono no solo. Esse aumento nos estoques de carbono se deve, sobretudo, ao vigoroso desenvolvimento do sistema radicular do pasto e à posterior incorporação desse carbono no solo. Além disso, o sistema de plantio direto (diversificação de culturas, não revolvimento do solo e cobertura constante do solo com palhada) é responsável pelo aumento dos estoques de carbono no solo em virtude da incorporação constante de carbono proveniente da palhada e da ausência de revolvimento do solo, que reduz a oxidação da matéria orgânica. Outro ponto importante em sistemas de ILP é o manejo da pastagem, pois, em sistemas que utilizam alta densidade animal e baixo resíduo de pasto, a reciclagem de carbono para o solo é baixa e os estoques de carbono no solo podem reduzir.

Salton *et al.* (2011) avaliaram os estoques de carbono no solo, em três localidades no Mato Grosso do Sul, submetidos a diferentes estratégias de utilização do solo, como pastagem permanente, lavoura com plantio convencional ou direto e ILP com rotação entre anos de lavoura e de pasto. De forma geral, a pastagem permanente ou em rotação com lavouras aumentou os estoques de carbono no solo, principalmente na fração particulada. Os menores estoques de carbono foram observados nos solos com lavouras anuais com plantio convencional. Em Dourados, o solo ocupado com lavoura com plantio convencional perdeu 0,0019 Mg C/ha, e com lavoura com plantio direto, perdeu 0,1687 Mg C/ha. Por outro lado, a ILP com rotação de soja com pasto a cada dois anos acumulou 0,44 Mg C/ha, e a pastagem permanente acumulou 0,9089 Mg C/ha. Em Maracaju, a

lavoura com plantio direto acumulou 0,4473 Mg C/ha, a rotação de soja com pasto a cada dois anos acumulou 0,8836 Mg C/ha, e as pastagens permanentes acumularam aproximadamente 1,3385 Mg C/ha. Já em Campo Grande, apenas as pastagens foram capazes de acumular carbono, entretanto as perdas de carbono foram menores na ILP em comparação aos sistemas tradicionais. Os resultados mostraram a importância da integração do pasto em áreas de lavoura como forma de aumentar os estoques de carbono no solo. Além disso, fica evidente que os resultados dependem de variáveis locais, como quantidade de palhada, adubações, condições edafoclimáticas e manejo do pasto.

Desempenho animal e vegetal

Os desempenhos animal e vegetal geralmente são aumentados nos sistemas de ILP. Os sistemas de ILP, como o sistema Barreirão e o São Mateus, que são responsáveis pela renovação dos pastos, geram maiores ganhos de peso nos animais em comparação aos sistemas convencionais. Além disso, os sistemas de ILP que produzem pasto na entressafra em áreas de lavoura oferecem pasto ainda de boa qualidade e com boa quantidade aos animais em uma época do ano de escassez de forragem. Geralmente, o desempenho vegetal também é melhorado em comparação aos sistemas tradicionais em razão da melhoria da estrutura e da qualidade do solo, da maior resistência a períodos de estiagem e da quebra do ciclo de pragas. Um aspecto importante da produção vegetal em sistemas integrados é a maior eficiência produtiva do sistema. Nesse caso, as lavouras conseguem manter a produtividade em comparação aos sistemas convencionais, mesmo com redução das doses de fertilizantes.

Salton *et al.* (2014) avaliaram a produção animal e a vegetal em três sistemas, um com o plantio convencional de soja seguido do plantio de aveia, outro com o plantio direto com a rotação de soja e milho, no verão, e trigo, aveia ou nabo forrageiro como cultura de cobertura, e o último com a ILP com rotação, a cada dois anos, de soja e aveia como cultura e pasto de *U. decumbens* pastejado por novilhas com oferta de forragem de 7% do peso vivo. A produção de soja, em anos com boa distribuição de chuva, foi de 2.984 kg/ha no sistema convencional, de 3.544kg ha/no sistema com plantio direto e rotação de cultura e de 3.075 kg/ha no sistema com ILP. Já nos anos com distribuição ruim de chuva, a produção foi de 1.642 kg/ha no sistema convencional, de 2.882 kg/ha no sistema com plantio direto e rotação de culturas e de 2.866 no sistema com ILP. O ganho de peso animal foi de 0,814 kg/animal/dia, e o ganho por área foi de 582 kg/ha. Esses resultados mostraram que os sistemas de ILP permitem maior produção vegetal por área e torna o

sistema menos vulnerável às variações climáticas no ciclo agrícola. Além disso, o alto desempenho animal permite maior rentabilidade e diversificação de renda do sistema.

Em trabalho semelhante, Vilela *et al.* (2017) avaliaram o plantio consorciado de *U. ruziziensis* ou *U. brizantha* cv. Piatã com milho em 200 ha de uma fazenda comercial no oeste da Bahia. A produtividade do milho foi de 9.652 kg/ha no plantio solteiro, de 9.459 kg/ha no plantio com *U. ruziziensis* e de 8.434 kg/ha no plantio com *U. brizantha* cv. Piatã. Já a produção do pasto foi de 2.677 kg/ha com a *U. ruziziensis* e de 5.514 kg/ha com a *U. brizantha* cv. Piatã. A produção da soja no ano seguinte foi de 3.275 kg/ha no plantio sem a *Urochloa* e de 4.049 kg/ha no plantio com a *Urochloa*. O ganho de peso animal no período de 1/6/2010 a 13/10/2010 foi de 50,6 kg/ha na pastagem de *U. ruziziensis* e de 103,2 kg/ha na de *U. brizantha* cv. Piatã. O ganho de peso diário foi de 0,8 kg/animal/dia na *U. ruziziensis* e de 0,98 kg/animal/dia na *U. brizantha* cv. Piatã. Esses resultados mostram a superioridade do sistema de ILP em comparação ao convencional na produção animal e na produção vegetal.

ASPECTOS DA IPF

Estoque de carbono

Os estoques de carbono nos sistemas arborizados exercem a importante função de mitigar as emissões produzidas pelo solo e pelos animais. Na IPF, o carbono estocado nas árvores permite que esse sistema estoque mais carbono em relação aos demais. As árvores apresentam a capacidade de reciclar nutrientes de estratos mais profundos do solo e de disponibilizar esses nutrientes para o pasto por meio da deposição de liteira. Esse pasto que cresce sob a influência das árvores, em sistema pouco adensado e com menor carga animal, possibilita o aumento do carbono no solo mediante a decomposição da biomassa aérea e das raízes. Além disso, o grande e profundo sistema radicular das árvores permite a estocagem de carbono nos estratos mais profundos do solo. Portanto, sistemas arborizados são ferramentas importantes na pecuária nacional como estratégias para aumentar os estoques de carbono e melhorar os indicadores ambientais do país.

Xu *et al.* (2016) avaliaram os estoques de carbono acima e abaixo do solo em vegetação nativa, em IPF com pinus (*Pinus elliottii*) e grama-batatais (*Paspalum notatum*) e em pasto de grama-batatais. O estoque de carbono total na IPF foi 74 Mg/ha maior que na vegetação nativa e 47 Mg/ha maior que no pasto solteiro. A maior diferença nos estoques de carbono ocorreu em razão do acúmulo de carbono na biomassa aérea na IPF

(Tabela 2). Em outro trabalho realizado com o objetivo de comparar a pegada de carbono, Figueiredo *et al.* (2016) observaram pegada de carbono de 18,5 kg CO₂ eq. por kg PV em animais criados em pastagem degradada, de 7,6 kg CO₂ eq. por kg PV em animais criados em pastagem manejada e de -28,1 kg CO₂ eq. por kg PV em animais criados em ILPF. Segundo os autores, essa redução ocorre devido à melhoria do pasto e ao aumento da produção animal em sistemas bem manejados e com árvores.

Tabela 2. Estoque e distribuição de carbono (Mg/ha) no ecossistema acima e abaixo do solo, em diferentes sistemas de uso do solo

Sistema de uso do solo	C total	C na biomassa aérea	C na liteira	C na raiz	C orgânico no solo
Vegetação nativa	94b	3,8b	0,2b	14a	76b
IPF	168a	59a	2,4a	6,0c	101a
Pasto	121b	2,1b	0,3b	9,1b	110a

Médias seguidas de letras distintas na coluna são diferentes entre si (p<0,05).

Fonte: Adaptado de Xu *et al.* (2016).

Desempenho vegetal

As espécies vegetais que compõem os pastos em ILPF passam por transformações morfológicas, produtivas e nutricionais. Essas transformações ocorrem em razão de modificações no ambiente do sistema, principalmente devido ao sombreamento do pasto. As principais transformações morfológicas das pastagens em sombreamento são o aumento da altura, o aumento da área foliar específica, a redução da relação folha/colmo, o aumento do teor de clorofila b e a redução do volume de raiz. A menor radiação fotossinteticamente ativa (RFA) que atinge as plantas, sobretudo em sistemas mais adensados, pode reduzir consideravelmente a produtividade e comprometer a capacidade de suporte do pasto. Já no aspecto nutricional, o sombreamento aumenta o teor de proteína bruta (PB) do pasto. Entre as possíveis explicações para esse aumento de PB, cita-se que as plantas que crescem sob sombra tendem a se manter em estágios mais jovens por mais tempo, a menor produção de biomassa faz com que o nitrogênio se concentre na biomassa da planta e aumente a PB e a maior ciclagem de nitrogênio do sistema aumenta a disponibilidade de nitrogênio para a planta.

Santos *et al.* (2016) avaliaram algumas características morfológicas do capim-piatã em pleno sol e em IPF com 22 e 12 m entre renques. A área foliar específica das plantas no verão foi de 176,3 cm²/g no pleno sol, de 204,5 cm²/g na IPF com 22 m e de 235,8 cm²/g na IPF com 12 m. Em outro estudo com capim-piatã, Geremia *et al.* (2018)

encontraram altura de planta de 34,9 cm no pleno sol, de 37,6 cm no sistema com sombra moderada, de 44,6 cm no meio do sistema com alta intensidade de sombra e de 54,5 cm embaixo das árvores no sistema com alta intensidade de sombra. Esses são exemplos de adaptações que a planta apresenta na tentativa de alcançar mais luz ou de aumentar a eficiência fotossintética em sistemas sombreados e manter a produtividade de biomassa.

A produtividade do pasto é um dos indicadores mais importantes dos sistemas pecuários porque impacta diretamente na capacidade de suporte do pasto e na lucratividade do sistema. Em estudo realizado por Pezzopane *et al.* (2020), foram avaliadas as produtividades do pasto em sistema extensivo, em intensivo, em ILP, em IPF e em ILPF. As pastagens arborizadas foram implementadas em 2011 e, já em 2014, apresentaram queda acentuada na produtividade. No verão de 2014, as produções de matéria seca da pastagem foram de 3.375,69 kg MS/ha com manejo intensivo, de 3.290,51 kg MS/ha na ILP, de 1.986,87 kg MS/ha na IPF e de 1.849,64 kg MS/ha na ILPF. A redução média de 42,45% de produtividade do pasto nos sistemas arborizados indica que também pode haver uma redução na produção animal nessas áreas.

O valor nutricional das pastagens também é alterado em ambientes sombreados. Alguns indicadores do valor nutricional, como digestibilidade e teores de fibras, variam muito entre trabalhos. Entretanto, os teores de PB quase sempre aumentam nas plantas que crescem sob sombra. Paciullo *et al.* (2016) avaliaram dois cultivares de *M. maximum* submetidos a 0, 37 e 58% de sombra. Os teores de PB foram de 9,6, 10,9 e 12,9% no cultivar Massai e de 10,5, 14,1 e 15,9% no cultivar Tanzânia, com 0, 37 e 58% de sombra, respectivamente. Porém, como a produtividade do pasto é reduzida em ambientes sombreados, é necessário ponderar os indicadores produtivos e nutricionais conjuntamente no planejamento dos sistemas.

Desempenho animal

O desempenho animal em IPF é importante para o sucesso dos empreendimentos porque impacta diretamente a rentabilidade em curto e em médio prazo do sistema. A criação de ruminantes para a produção de leite e carne é fortemente influenciada pelas alterações causadas pela presença das árvores no ambiente, pois elas melhoram o ambiente e o conforto térmico para os animais. Além disso, a presença de sombra modifica a fisiologia das plantas da pastagem e melhora seu valor nutricional, principalmente com aumento do teor de PB. Entretanto, a presença das árvores reduz a RFA que atinge o pasto e diminui consideravelmente sua produção em sistemas com alta

densidade arbórea. Além de provocar menor produção, o pasto sob sombra altera sua estrutura com aumento da altura e menor relação folha/colmo. A menor produção e a pior estrutura do pasto podem prejudicar o desempenho animal e a lucratividade do sistema. Portanto, é fundamental a realização de um plano de negócios bem estruturado para esses sistemas para evitar erros de planejamento e maximizar o sucesso futuro desses empreendimentos.

A melhoria do ambiente para os animais é uma das principais vantagens da IPF, pois permite melhor bem-estar aos animais e, assim, pode melhorar a resposta imune, o desempenho reprodutivo e a produção individual do animal. Em experimento realizado em São Carlos-SP, Pezzopane *et al.* (2019) avaliaram indicadores ambientais em sistemas com pleno sol e no meio do renque ou embaixo das árvores em IPF. No verão, o número de horas com índice de temperatura em globo negro e umidade acima de 79 foi de 6,8 no pleno sol, de 4,4 embaixo das árvores e de 5,9 no meio do renque. A carga térmica radiante seguiu a mesma tendência e foi de 643,2 W/m² no pleno sol, de 504,6 W/m² embaixo das árvores e de 566,2 W/m² no meio do renque. Esses resultados mostram como a IPF é capaz de melhorar o ambiente para os animais e pode impactar positivamente no sistema. No entanto, em ambientes muito adensados, a menor velocidade do vento e a maior umidade do ar geralmente reduzem os efeitos positivos da menor temperatura e da menor carga térmica.

Pontes *et al.* (2018) avaliaram o desempenho de novilhas de corte em pastagem de azevém (*Lolium multiflorum*) e aveia (*Avena strigosa*), submetida à adubação com 90 ou 180 kg de nitrogênio/ha em ILP ou em IPF com eucalipto (*Eucalyptus dunnii*) e grevilea (*Grevillea robusta*), em espaçamento de 3 m entre árvores e 14 m entre renques (238 árvores/ha). Os ganhos médios diários foram de 882 e 937 g/animal/dia na ILP com 90 e 180 kg de N e de 567 e 664 g/animal/dia na IPF com 90 e 180 kg de N. Já o ganho por hectare foi de 3,4 e 3,9 kg PV/ha/dia na ILP com 90 e 180 kg de N e de 1,8 a 2,1 kg PV/ha/dia na IPF com 90 e 180 kg de N. Esses resultados mostram que, em fazendas que objetivam priorizar a pecuária, devem-se adotar maiores espaçamentos para que a redução da produção do pasto não reduza significativamente a produção animal.

A dinâmica de pastejo dos animais em ILPF é influenciada pela estrutura do pasto. O pasto sob sombra recebe menor RFA, e, por isso, as plantas alongam o colmo na tentativa de buscar mais luz. Essa alteração do ambiente modifica a fisiologia e a morfologia das plantas e pode alterar o comportamento de pastejo dos animais. A maior

altura e a menor oferta de folhas podem piorar a estrutura do pasto, prejudicar a característica do bocado e aumentar o tempo do animal em pastejo.

Em trabalho realizado por Geremia *et al.* (2018), o pasto com alta intensidade de sombra teve maior altura e proporção de colmos. Nesse sistema, os animais reduziram a massa do bocado e a taxa de consumo. O maior consumo de forragem foi observado nos sistemas em pleno sol e com sombra moderada, em razão da maior proporção de folhas. Os resultados mostraram que o sombreamento moderado não foi muito prejudicial à produtividade do sistema, fato que evidencia a importância de adequar a escolha da espécie arbórea, a densidade de plantas e o arranjo do sistema.

INTENSIFICAÇÃO DA AGROPECUÁRIA

A pecuária nacional ainda apresenta baixos índices produtivos, principalmente em sistemas extensivos com baixa adoção de tecnologias e melhorias de manejo. Essa baixa eficiência produtiva é um dos principais fatores responsáveis pelas altas emissões de GEE por unidade de produto agropecuário (leite e carne) gerado. Exemplos clássicos dessa baixa eficiência produtiva e alta emissão de GEE são a baixa produção de leite por vaca e a elevada idade ao abate dos rebanhos nacionais.

A pegada de carbono, ou seja, a quantidade de carbono emitido por kg de produto gerado em vacas de alta produção, é menor quando estas são comparadas a vacas de baixa produção. A principal explicação para esse fenômeno é que, embora a produção de GEE por animal seja maior em vacas de alta produção, a energia requerida para manutenção é muito semelhante entre os animais e, por isso, as emissões são mais diluídas nas vacas de alta produção. Outro exemplo de baixa eficiência produtiva nacional é o chamado “Boi sanfona”. Tal denominação é amplamente reconhecida no Brasil para caracterização dos animais criados em pastagens sem manejo e que não recebem suplementação adequada durante o ano. Esses animais passam por períodos de ganho de peso no período chuvoso e de perda de peso no período seco e geralmente só atingem peso ao abate após 48 meses de idade. A comparação entre esse animal abatido aos 48 meses com outro abatido aos 24 meses deixa claro que, embora o animal abatido aos 24 meses tenha maior emissão diária de GEE, as emissões totais durante a vida do animal e por kg de carne produzida serão menores neste animal.

Em estudo realizado por Palermo *et al.* (2014), o piqueteamento e a rotação da pastagem tiveram o maior potencial de mitigação de GEE com redução de 17,7 Gt CO₂ eq., enquanto o consórcio de leguminosas com pastagens teve o menor potencial com 7,1

Gt CO₂ eq. O confinamento dos animais foi capaz de mitigar 8,3 Gt CO₂ eq., e a mesclagem de todos os três cenários acima foi capaz de reduzir 13,1 Gt CO₂ eq. Os autores ressaltaram que a intensificação dos sistemas, a redução de áreas de pastagem e a diminuição da pressão por abertura de novas áreas são fundamentais para reduzir as emissões de GEE e favorecer a regeneração dos biomas nacionais.

Cardoso *et al.* (2016) avaliaram a pegada de carbono em sistemas produtores de carne, por meio da avaliação de cenários em pasto de *U. decumbens* degradado e sem manejo para aumento da produção animal (1), em pasto de *U. brizantha* cv. Marandu renovado a cada 10 anos e oferta de sal mineral esporadicamente (2), em pasto composto por gramínea e a leguminosa *Stylosanthes* spp. renovado a cada cinco anos, com adubações de 100 kg de fósforo e potássio e melhor manejo animal (3), em pasto de *M. maximum* cv. Tanzânia renovado a cada cinco anos, adubado e com bom manejo animal (4), e em pasto de *M. maximum* cv. Tanzânia renovado a cada cinco anos, adubado e com bom manejo animal e animais confinados por 75 dias antes do abate (5).

Entre esses cenários, o aumento da digestibilidade da forragem reduziu o consumo e a emissão de metano por ganho de peso vivo. As emissões de CO₂ foram maiores principalmente em razão do maior uso de máquinas e as emissões de óxido nitroso foram maiores com a aplicação de adubos nitrogenados. Porém, a pegada de carbono (kg CO₂ eq./kg carcaça) foi de 58,3 no cenário um, de 40,9 no dois, de 29,6 no três, de 32,4 no quatro e de 29,4 no cinco. Os resultados mostram que a intensificação da produção do rebanho bovino reduz as emissões dos GEE por unidade de produto.

ÓRGÃOS INTERNACIONAIS E POLÍTICAS PÚBLICAS PARA OS SISTEMAS INTEGRADOS

O crescimento populacional e a mudança do padrão de consumo da sociedade atual alteraram as relações do homem com o ambiente. Os impactos ambientais provocados por essas mudanças geraram – e geram – preocupação em diversos setores da sociedade, em todo o mundo. Com o objetivo de prover informações científicas para governantes desenvolverem políticas sobre o clima, em 1988 foi criado o IPCC, pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (U) em parceria com a Organização Mundial de Meteorologia (WMO). O IPCC é o maior e mais respeitado órgão internacional do mundo sobre as questões climáticas e suas possíveis consequências. A produção de relatórios globais sobre mudanças climáticas e a padronização de metodologias sobre as emissões de GEE são outras funções importantes do IPCC.

Desde 1988, o IPCC publicou cinco relatórios de avaliação (Assessment Reports) que são os mais completos do mundo e compilam informações científicas sobre mudanças climáticas. Além desses, já foram publicados relatórios de metodologia, relatórios especiais e textos técnicos. Em 1990, o primeiro relatório de avaliação enfatizou a importância das mudanças climáticas e a necessidade de cooperação internacional. Em 1995, o segundo relatório de avaliação ajudou no planejamento das ações dos governantes para a adoção do protocolo de Kyoto, em 1997. Em 2001, o terceiro relatório deu atenção aos impactos das mudanças climáticas e à necessidade de adaptação. Em 2007, o quarto relatório focou na limitação do aquecimento global em 2 °C. Em 2013/2014, o quinto relatório ajudou no suporte científico para o Acordo de Paris. Atualmente o IPCC trabalha no sexto relatório de avaliação, e a previsão de divulgação é para 2022.

No contexto nacional brasileiro, o manejo e a preservação do ambiente envolvem órgãos como o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) e o Ministério do Meio Ambiente (MMA), institutos públicos como o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) e o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), bem como legislações como o Código Florestal. A principal política pública voltada para a melhoria dos indicadores ambientais na agropecuária é o Plano ABC. O objetivo do Plano ABC é o planejamento e a organização das ações para adoção das tecnologias de produção sustentáveis. Entre as metas do plano, está a redução entre 1.168 e 1.259 milhões de t CO₂ eq. do total das emissões estimadas para o ano de 2020 (3.236 milhões de t CO₂ eq.).

As diretrizes do Plano ABC envolvem regularização ambiental, regularização fundiária, campanhas publicitárias, estudos e planejamentos, pesquisa, desenvolvimento e inovação, capacitação de técnicos e produtores rurais, transferência de tecnologia, 1, disponibilização de insumos, produção de sementes e mudas florestais e crédito rural. O Plano ABC é composto por sete programas e, em 2018, boa parte das metas já haviam sido alcançadas (Tabela 3). Além disso, os dados oficiais preveem a necessidade de investimento de R\$ 197 bilhões no período de 2011 a 2020, por meio de crédito rural.

Tabela 3. Medidas planejadas pelo programa ABC até 2020 e alcançadas até 2018

Medida	Planejado até 2020	Alcançado até 2018
Recuperação de pastagens degradadas (milhões de ha)	15,0	4,46
Integração lavoura-pecuária-floresta (milhões de ha)	4,0	5,83
Sistema plantio direto (milhões de ha)	8,0	9,97
Fixação biológica de nitrogênio (milhões de ha)	5,5	9,97
Florestas plantadas (milhões de ha)	3,0	1,10
Tratamento de dejetos animais (milhões de m ³)	4,4	1,70
Tecnologias ABC (milhões de ha)	35,5	27,6

Fonte: Adaptado de MAPA (2012; 2018).

Além do Plano ABC, há outros programas que podem auxiliar no melhoramento dos indicadores produtivos e ambientais no Brasil. A Política Nacional de ILPF, o Fundo Amazônia e o Plano Nacional de Agroecologia e Produção Orgânica (PLANAPO) são exemplos de programas que podem atuar na promoção do desenvolvimento rural sustentável. No contexto da agricultura familiar, a melhoria da condição produtiva, por meio do acesso de recursos do Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (PRONAF), do Programa de Aquisição de Alimentos (PAA) e do Programa Nacional de Alimentação Escolar (PNAE), também pode contribuir para o aperfeiçoamento dos indicadores produtivos e ambientais do país.

ANÁLISE ECONÔMICA E GESTÃO EM SISTEMAS INTEGRADOS

As propriedades rurais apresentam grandes diversidades produtivas. Por isso, abordar o custo produtivo e a viabilidade econômica de um sistema deve ser feito com cautela. Fatores como o clima, a fertilidade de solo, a proximidade a polos produtivos específicos, as condições logísticas, a disponibilidade de água, o tamanho da propriedade, a topografia, entre muitos outros, podem inviabilizar a implantação de um sistema produtivo. Dependendo da propriedade e do custo produtivo, o aumento da escala pode gerar maior risco e até mesmo prejuízo ao produtor rural.

O Brasil é destaque mundial no agronegócio. Os setores de relevo são diversos, tais como a pecuária, a agricultura e a silvicultura. Entretanto, esses setores foram desenvolvidos seguindo a ideologia do produtivismo no contexto da Revolução Verde do século XX, em que o desenvolvimento tecnológico priorizou a especialização agrícola como meio para aumentar a produção e otimizar o uso da terra. O monocultivo trouxe consigo muitos problemas tanto de ordem produtiva como econômica. Os sistemas

integrados, no entanto, abordam uma nova metodologia econômica, por meio da economia de escopo (diminuição do custo, em razão da produção de múltiplos produtos). Nesse método, a redução dos custos não ocorre pelo aumento no volume de produção de *commodities*, mas sim pela diversificação e otimização dos recursos.

Nesse cenário, surge o conceito do *Triple Bottom Line* (TBL), conhecido como tripé da sustentabilidade, que aponta a necessidade do desempenho econômico aliado ao ambiental, social e suas inter-relações. A diversificação dos sistemas, além de mitigar as perdas produtivas por aumentar a resistência a veranicos, a infiltração de água no solo e a qualidade de matéria orgânica, reduz os riscos de perdas econômicas. Isso ocorre porque muitas vezes os preços dos produtos oriundos desse sistema apresentam baixa correlação entre si, diminuindo os riscos de baixa no mercado em todos os segmentos no mesmo momento (Lazzarotto *et al.*, 2009; Gameiro *et al.*, 2016; Poffenbarger *et al.*, 2017).

Nos sistemas integrados, coexistem dois ou mais sistemas produtivos na mesma área, o que dificulta o gerenciamento e a apropriação adequada dos custos ao produto. Nesse contexto, faz-se necessária a criação de centros de custo para não gerir a atividade de forma empírica (Oaigen *et al.*, 2008). Outro problema existente na formação dos custos produtivos é a grande diversidade de metodologias de cálculo. Essa variação dificulta a comparação de diferentes sistemas de produção (Oaigen *et al.*, 2008). Em 1972, o Instituto de Economia Agrícola (IEA) propôs uma metodologia padrão para mensuração dos custos produtivos, chamada de custo operacional, a qual teve como premissa básica a facilidade de mensuração e a isenção de subjetividade.

Essa metodologia aborda os conceitos de custo operacional efetivo (COE), que engloba apenas os custos diretos aplicados ao produto, e de custo operacional total (COT), que compreende todos os custos fixos e variáveis. Tal método também se refere ao custo total, que é calculado a partir da somatória do COT com o custo de oportunidade. Após o levantamento desses custos e das fontes de receita, é possível identificar qual a situação atual da propriedade e qual a tendência caso nenhuma ação corretiva seja adotada.

Os sistemas integrados permitem a produção respeitando-se os aspectos ambientais e sociais. Porém, possuem maior complexidade gerencial, produtiva e podem demandar maior investimento inicial (Lazzarotto *et al.*, 2009). Em sistemas mais tecnificados, o conhecimento técnico, por si só, não é capaz de gerar bons resultados. A capacidade de liderança e o conhecimento gerencial, aliados a um método eficiente de gestão, são fundamentais (Campos, 2014).

O ciclo PDCA (planejar, fazer, checar e agir) é um modelo gerencial muito utilizado em todo o mundo, por promover aprendizado e melhoria contínua em toda a organização. Antes de começar a tomar decisões, é necessário um bom planejamento estratégico, que envolve a definição dos pontos fortes, dos fracos, das oportunidades e das ameaças da propriedade. Uma das ferramentas utilizadas nesse planejamento é a análise SWOT (forças, fraquezas, oportunidades e ameaças). Essa análise deve ser realizada de forma específica para cada propriedade.

Após identificar as forças e as debilidades do sistema, é preciso decidir estrategicamente como gerir o risco. Nesse contexto, a definição dos indicadores auxilia os gestores e os proprietários a tomarem decisões baseadas em fatos e dados. É comum, diante de tantas informações, gestores se perderem ao tentarem gerir todos os dados. Isso é explicado pelo limite cognitivo que temos de gerenciar informações. Existe um período finito de memória imediata e esse tem cerca de sete itens (Müller *et al.*, 2011). Portanto, em cada sistema, deve-se procurar gerenciar os principais indicadores envolvidos com a satisfação do cliente.

ATER EM SISTEMAS INTEGRADOS

Os sistemas integrados são reconhecidos pelas literaturas nacional e internacional como capazes de promover o aumento da produtividade agropecuária, juntamente com a melhoria dos indicadores ambientais. Entretanto, a adoção desses sistemas em larga escala nas propriedades brasileiras ainda é um entrave para a melhoria dos indicadores produtivos e ambientais da agropecuária nacional. Dessa forma, é fundamental entender o processo de desenvolvimento tecnológico, desde a produção de tecnologias nos centros de pesquisa até a real aplicação delas no campo.

A ATER no Brasil tem papel central para divulgar informações científicas para o setor agropecuário e promover a melhoria da eficiência técnica, produtiva e econômica dos sistemas produtivos brasileiros. Estes são muito heterogêneos e, por isso, demandam diferentes metodologias e abordagens para que sejam adequadamente atendidos. Tal adequação metodológica nos sistemas produtivos faz com que os extensionistas sejam caracterizados como atores fundamentais no processo de desenvolvimento rural, os quais precisam ter a sensibilidade de entender o funcionamento amplo dos sistemas produtivos e definir as melhorias técnicas e as tecnologias que se adequam a esse funcionamento. Portanto, tais profissionais precisam exercer o papel de adequação dos sistemas produtivos e não apenas o de difusores de tecnologias.

Em levantamento feito por Gil *et al.* (2015) com produtores e agentes locais no estado de Mato Grosso, foi observado que diversos fatores influenciavam a adoção e a expansão dos sistemas integrados. Entre esses fatores, constatou-se que o tamanho das propriedades, a condição da posse da terra, o nível de conhecimento do produtor, a localização no estado, a estratégia de rotação, o acesso às linhas de crédito, as características dos proprietários e das propriedades, o perfil tecnológico dos produtores, a disponibilidade de maquinário e o histórico produtivo da propriedade influenciavam a adoção e a estratégia de utilização dos sistemas integrados.

Em outro levantamento feito por Tomaz *et al.* (2017A, 2017B) no estado de Goiás, também foi observado que especialistas e produtores destacaram diferentes barreiras para a adoção de sistema de ILPF. Os especialistas citaram a falta de assistência técnica aos agropecuaristas, de capacitação gerencial dos produtores rurais e de maquinário específico para as operações. Já os produtores apontaram a falta de financiamento e de seguro agrícola, de disponibilidade de capital e de recursos financeiros, a necessidade de financiamento e a falta de fonte de fomento para financiar e pagar os custos da adoção do sistema.

O território brasileiro é heterogêneo quanto às condições edafoclimáticas, a diversidade de fauna e flora, a distribuição populacional e a ocupação da terra. A formação agrária brasileira é marcada por acontecimentos históricos e políticas públicas que determinaram a estrutura fundiária atual, as características dos sistemas produtivos, a localização das cadeias produtivas e a distribuição geográfica das espécies vegetais e animais pelo país. Essas diversidades de recursos naturais e de ocupação do território nacional fizeram com que os sistemas produtivos no Brasil sejam heterogêneos em tamanhos, produtos elaborados, cultura e nível educacional dos produtores, acesso a políticas públicas, entre outros muitos fatores. Portanto, fica evidente que a abordagem desses sistemas produtivos pelos serviços de ATER precisa utilizar metodologias capazes de atender, de forma adequada, a esses sistemas.

Os sistemas integrados podem ser ainda mais heterogêneos por permitirem diferentes arranjos entre lavouras, animais e árvores de forma simultânea, rotacionada ou em sucessão. Com base nessa heterogeneidade, é fácil perceber que a tentativa de promover a simples difusão tecnológica dos sistemas integrados como modelos pré-estruturados para as diferentes regiões e sistemas produtivos do país pode ser uma das causas de insucesso de adoção desses sistemas. Portanto, a abordagem das propriedades rurais que demandam os sistemas integrados precisa de *expertise* técnica e adequação das

metodologias de ATER para adaptar o conhecimento científico aos anseios dos produtores. A melhoria da qualidade e a democratização do acesso do serviço de ATER são fundamentais para impulsionar a adoção dos sistemas integrados e melhorar os indicadores produtivos e ambientais da agropecuária nacional.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O setor agropecuário é responsável pela produção de alimentos e matéria-prima em todo o mundo e, até o momento, é o único meio de sustentar o planeta. Portanto, as críticas constantemente feitas ao agronegócio por diversos setores da sociedade precisam ser ponderadas juntamente com a proposição de opções para o seu melhor desenvolvimento. A pesquisa agropecuária no Brasil já desenvolveu e continua desenvolvendo diariamente novas informações e tecnologias para o desenvolvimento rural com aumento de produtividade e de preservação ambiental. Entretanto, o maior desafio do setor é fazer com que tais informações e tecnologias sejam amplamente divulgadas para todos os tipos de produtores rurais. Essa ampla divulgação e apoio à adoção pelos produtores é o principal meio para transformar os indicadores produtivos e ambientais da agropecuária nacional.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alves, B. J.; Madari, B. E.; Boddey, R. M. 2017. Integrated crop–livestock–forestry systems: prospects for a sustainable agricultural intensification. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v. 1, n. 108, p. 1-4, doi: 10.1007/s10705-017-9851-0.
- Balbino, L. C.; Cordeiro, L. A. M.; Porfírio-da-Silva, V.; Moraes, A. D.; Martínez, G. B.; Alvarenga, R. C.; Kichel, A. N.; Fontaneli, R. S.; Santos, H. P.; Franchini, J. C.; Galerani, P. R. 2011. Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 46, n. 10, p. 1-12, doi: 10.1590/S0100-204X2011001000001.
- Brasil-Casa Civil. 2009. LEI Nº 12.187, DE 29 DE DEZEMBRO DE 2009. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC. DOU de, v. 30.
- Cardoso, A. S.; Berndt, A.; Leytem, A.; Alves, B. J. R.; de Carvalho, I. D. N. O.; de Soares, L. H. B.; Urquiaga, S.; Boddey, R. M. 2016. Impact of the intensification of beef production in Brazil on greenhouse gas emissions and land use. *Agricultural Systems*, v. 143, p. 86-96, doi: 10.1016/j.agee.2015.12.007.
- Campos, V. F. 2014. TQC Controle da Qualidade Total - No estilo Japonês. 9ª. ed. Editora: Falconi. Nova Lima.
- Cerri, C. E. P.; Cerri, C. C.; Maia, S. M. F.; Cherubin, M. R.; Feigl, B. J.; Lal, R. 2018. Reducing Amazon deforestation through agricultural intensification in the Cerrado for advancing food security and mitigating climate change. *Sustainability*, v. 10, n. 4, p. 989, doi: 10.3390/su10040989.
- Figueiredo, E. B.; Jayasundara, S.; Bordonal, R. O.; Berchielli, T. T.; Reis, R. A.; Wagner-Riddle, C.; La Scala Junior, N. 2016. Greenhouse gas balance and carbon footprint of beef cattle in three contrasting pasture-management systems in Brazil. *Journal of cleaner production*, v. 142, p. 420-431, doi: 10.1016/j.jclepro.2016.03.132.
- Gameiro, A. H.; Rocco, C. D.; Caixeta Filho, J. V. 2016. Linear Programming in the economic estimate of livestock-crop integration: application to a Brazilian dairy farm. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 45, n.º 4, p. 181-189.
- Geremia, E. V.; Crestani, S.; Mascheroni, J. D. C.; Carnevalli, R. A.; Mourão, G. B.; da Silva, S. C. 2018. Sward structure and herbage intake of *Brachiaria brizantha* cv. Piatã in a crop-livestock-forestry integration area. *Livestock Science*, v. 212, p. 83-92, doi: 10.1016/j.livsci.2018.03.020.
- Gil, J.; Siebold, M.; Berger, T. 2015. Adoption and development of integrated crop–livestock–forestry systems in Mato Grosso, Brazil. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 199, p. 394-406, doi: 10.1016/j.agee.2014.10.008.
- Godfray, H. C. J.; Beddington, J. R.; Crute, I. R.; Haddad, L.; Lawrence, D.; Muir, J. F.; Pretty, J.; Robinson, S.; Thomas, S. M.; Toulmin, C. 2010. Food security: the challenge of feeding 9 billion people. *Science*, v. 327, n. 5967, p. 812-818, doi: 10.1126/science.1185383.
- IPCC. 2018: Summary for Policymakers. In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. In Press.
- IPCC-Intergovernmental Panel on Climate Change. 2020. Reports. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/reports/>, acessado em: 29/05/2020
- IPCC. 2019: Summary for Policymakers. In: Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems [P.R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.- O. Pörtner, D. C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi, J. Malley, (eds.)]. In press.

- Lazzarotto, J. J.; dos Santos, M. L.; de Lima, J. E.; de Moraes, A. 2009. Volatilidade dos retornos econômicos associados à integração lavoura-pecuária no Estado do Paraná. *Revista de Economia e Agronegócio*, v. 7, nº. 2.
- Macedo, M. C. M. 2009. Integração lavoura e pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.38, p. 133-146, doi: 10.1590/S1516-35982009001300015.
- MAPA-Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 2012. Plano setorial de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas para a consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na agricultura: plano ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono), Brasília, p 173, ISBN 978-85-7991-062-0.
- MAPA-Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 2018. Adoção e mitigação de Gases de Efeitos Estufa pelas tecnologias do Plano Setorial de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas (Plano ABC). Nota técnica.
- MAPA-Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 2020. Plano ABC - Agricultura de Baixa Emissão de Carbono. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/plano-abc>, acessado em: 29/05/2020.
- Müller, M. D.; Nogueira, G. S.; Castro, C. R. T. D.; Paciullo, D. S. C.; Alves, F. D. F.; Castro, R. V. O.; Fernandes, E. N. 2011. Economic analysis of an agrosilvipastoral system for a mountainous area in Zona da Mata Mineira, Brazil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 46, nº. 10, p. 1148-1153, doi: 10.1590/S0100-204X2011001000005.
- Oaigen, R. P.; Barcellos, J. O. J.; Christofari, L. F.; Braccini Neto, J.; Oliveira, T. E. D.; Prates, Ê. R. 2008. Melhoria organizacional na produção de bezerros de corte a partir dos centros de custos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 37, nº. 3, p. 580-587.
- Paciullo, D.S.C.; Gomide, C.D.M.; Castro, C.R.T.; Maurício, R.M.; Fernandes, P.B.; Morenz, M.J.F. 2016. Morphogenesis, biomass and nutritive value of *Panicum maximum* under different shade levels and fertilizer nitrogen rates. *Grass and Forage Science*, v.72, n.3, p.590-600, doi: 10.1111/gfs.12264.
- Palermo, G. C.; Avignon, A. L. A.; Freitas, M. A. V. 2014. Reduction of emissions from Brazilian cattle raising and the generation of energy: Intensification and confinement potentials. *Energy Policy*, v. 68, p. 28-38, doi: 10.1016/j.enpol.2014.01.041.
- Pezzopane, J. R. M.; Bernardi, A. C. C.; Azenha, M. V.; Oliveira, P. P. A.; Bosi, C.; Pedroso, A. F.; Esteves, S. N. 2020. Production and nutritive value of pastures in integrated livestock production systems: shading and management effects. *Scientia. Agricola*. v.77, n.2, doi: 10.1590/1678-992X-2018-0150.
- Pezzopane, J. R. M.; Nicodemo, M. L. F.; Bosi, C.; Garcia, A. R.; Lulu, J. 2019. Animal thermal comfort indexes in silvopastoral systems with different tree arrangements. *Journal of thermal biology*, v. 79, p. 103-111, doi: doi.org/10.1016/j.jtherbio.2018.12.015.
- Poffenbarger, H.; Artz, G.; Dahlke, G.; Edwards, W.; Hanna, M.; Russell, J.; Sellers, H.; Liebman, M. 2017. An economic analysis of integrated crop-livestock systems in Iowa, USA. *Agricultural Systems*, v. 157, p. 51-69, doi: 10.1016/j.agsy.2017.07.001.
- Pontes, S. L.; Barro, R. S.; Savian, J. V.; Berndt, A.; Moletta, J. L.; Porfírio-da-Silva, V.; Bayer, C.; Carvalho, P. C. F. 2018. Performance and methane emissions by beef heifer grazing in temperate pastures and in integrated crop-livestock systems: The effect of shade and nitrogen fertilization. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 253, p. 90-97, doi: 10.1016/j.agee.2017.11.009.
- Salton, J. C.; Mercante, F. M.; Tomazi, M.; Zanatta, J. A.; Concenço, G.; Silva, W. M.; Retore, M. 2014. Integrated crop-livestock system in tropical Brazil: Toward a sustainable production system. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 190, p. 70-79, doi: 10.1016/j.agee.2013.09.023.
- Salton, J. C.; Mielniczuk, J.; Bayer, C.; Fabrício, A. C.; Macedo, M. C. M.; Broch, D. L. 2011. Teor e dinâmica do carbono no solo em sistemas de integração lavoura-pecuária. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 46, n. 10, p. 1349-1356, doi: 10.1590/S0100-204X2011001000031.

Santos, D. C.; Júnior, R. G.; Vilela, L.; Pulrolnik, K.; Bufon, V. B.; França, A. F. S. 2016. Forage dry mass accumulation and structural characteristics of Piatã grass in silvopastoral systems in the Brazilian savannah. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 233, p. 16-24, doi: 10.1016/j.agee.2016.08.026.

Tomaz, G. A.; Borges, A. S.; Wander, A. E.; Souza, C. B. 2017A. Como viabilizar a adoção do sistema ILPF. *Revista SODEBRAS*, v. 12, nº 144.

Tomaz, G. A.; Wander, A. E. 2017B. Barreiras à adoção do sistema ILPF em Goiás. *Revista de Ciência Política*, nº 1.

Vilela, L.; Manjabosco, A.; Marchão, R. L.; Guimarães Júnior, R. “Boi Safrinha” na Integração Lavoura-Pecuária no Oeste Baiano. Circular Técnica nº35. Planaltina. 2017.

Vilela, L.; Martha Junior, G. B.; Macedo, M. C. M.; Marchão, R. L.; Guimaraes Junior, R.; Pulrolnik, K.; Maciel, G. A. 2011. Sistemas de integração lavoura-pecuária na região do Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 46, n. 10, p. 1127-1138, doi: 10.1590/S0100-204X2011001000003.

Xu, S.; Silveira, M. L.; Inglett, K. S.; Sollenberger, L. E.; Gerber, S. 2016. Effect of land-use conversion on ecosystem C stock and distribution in subtropical grazing lands. *Plant and soil*, v. 399, n. 1-2, p. 233-245, doi: 10.1007/s11104-015-2690-3.

CAPÍTULO 2

CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS DAS PASTAGENS EM SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO PECUÁRIA-FLORESTA

Alan Figueiredo de Oliveira; Ângela Maria Quintão Lana; Lúcio Carlos Gonçalves; Matheus Anchieta Ramirez; Pamella Grossi de Sousa; Frederico Patrus Ananias de Assis Pires; Rafael Araújo de Menezes; Guilherme Lobato Menezes

RESUMO

A integração pecuária-floresta é uma alternativa de sistema de produção agropecuária sustentável. Esse sistema é capaz de preservar a capacidade produtiva do solo, melhorar o bem-estar animal e diversificar a renda das propriedades em curto, médio e longo prazo. Entretanto, as alterações climáticas nos ambientes desses sistemas provocam modificações na estrutura e na produtividade do pasto. A menor radiação fotossinteticamente ativa que atinge o pasto é a principal causa das alterações morfológicas na altura das plantas, na área foliar específica, no comprimento da folha, no perfilhamento e no acúmulo de pigmentos. Além das alterações morfológicas, as pastagens geralmente reduzem sua produtividade com o aumento do adensamento das árvores e do sombreamento. Portanto, o conhecimento dessas alterações é fundamental para o estabelecimento de um adequado planejamento dos sistemas produtivos que buscam sinergismo entre preservação ambiental, maximização produtiva e alta rentabilidade.

INTRODUÇÃO

A partir da década de 1960, o Brasil passou por um processo de modernização da agricultura baseado na mecanização e quimificação dos processos produtivos, no plantio em monocultivo e na padronização técnica dos produtos. Essa modernização resultou em aumento expressivo da produção agropecuária, entretanto gerou impactos negativos nos âmbitos social, ambiental e econômico. Assim, os atuais sistemas integrados de produção agropecuária buscam conciliar um desenvolvimento sustentável ambientalmente correto, socialmente justo e viável economicamente (Lemaire *et al.*, 2013; Paciullo *et al.*, 2014; Alves *et al.*, 2017).

O sistema de integração pecuária-floresta (IPF) é constituído pelos componentes arbóreo, animal e pastagem. Esses componentes podem conter diferentes espécies, arranjos e intensidades de exploração (Salton *et al.*, 2014; Gil *et al.*, 2014). A interação espacial entre árvores, pastagens e animais gera novas relações no ambiente, no solo, na qualidade e quantidade de pasto e nos desempenhos animal e madeireiro (Cordeiro *et al.*, 2015; Guenni *et al.*, 2018). Os sistemas de IPF mais empregados no Brasil utilizam diferentes arranjos entre clones de eucalipto (*Eucalyptus* sp.) como componente arbóreo e forrageiras tropicais do gênero *Urochloa* sp. e *Megathyrsus* sp. Entretanto, outras espécies arbóreas e forrageiras exóticas ou nativas também podem ser utilizadas (Balbino *et al.*, 2011).

A presença das árvores nesses sistemas provoca alterações no microclima local, como aumento do sombreamento, reduções do vento e da temperatura e aumento da umidade. A produtividade e a morfologia das plantas forrageiras sob o sombreamento das árvores podem ser alteradas devido à menor radiação fotossinteticamente ativa (RFA) que atinge o pasto. Portanto, a densidade e as características das espécies arbóreas são os principais fatores que podem reduzir a produção das forrageiras (Paciullo *et al.*, 2011; Pezzopane *et al.*, 2020).

Os sistemas de IPF mais adensados apresentam reduções acentuadas das produtividades das pastagens (Paciullo *et al.*, 2011; Gomes *et al.*, 2019). Em sistemas que utilizam espaçamentos maiores, a redução da produtividade geralmente não é significativa (Vilela *et al.*, 2011; Nascimento *et al.*, 2019). Assim, o planejamento desse sistema deve considerar as estratégias comerciais do empreendimento rural para definir os arranjos técnicos do sistema a fim de beneficiar a pecuária com maiores espaçamentos ou a silvicultura com menores espaçamentos. Objetivou-se, com este capítulo, avaliar as características morfológicas e produtivas das forrageiras em diferentes sistemas de integração pecuária-floresta.

CONDIÇÕES CLIMÁTICAS EM SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO PECUÁRIA-FLORESTA

As condições climáticas em sistemas de integração pecuária-floresta sofrem influência dos arranjos e dos tipos das árvores. A temperatura, a radiação e a velocidade do vento constituem os principais indicadores que são reduzidos em sistemas sob sombreamento (Tabela 1) (Baliscei *et al.*, 2013).

Tabela 1. Valores médios de temperatura do ar (TA), umidade relativa (UR), temperatura em globo negro (TGP), velocidade do vento (VV), índice de umidade em globo negro (IUGP), índice de carga térmica (ICT) e carga térmica radiante (CTR) em IPF e em pleno sol

Variáveis	IPF	Pleno sol
TA (°C)	21,2a	21,2a
UR (%)	66,4a	66,3a
TGP (°C)	24,7b	26,4a
VV (m/s)	3,1b	4,5a
IUGP	71,8b	73,8a
ICT	74,5b	76,1a
CTR (W/m ²)	526,4b	595,8a

Médias seguidas de letras distintas diferem pelo teste de Tukey a 5% de significância. Fonte: Adaptado de Baliscei *et al.* (2013).

A radiação incidente que atinge o pasto varia entre as épocas do ano e o adensamento das árvores. A máxima radiação incidente em um sistema de IPF foi de 856 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ a 14,8 m das árvores de eucalipto no inverno e de 1.788 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ a 12,5 m das árvores no verão (Paciullo *et al.*, 2011). A RFA foi 21,9% menor em um sistema silvipastoril com *U. brizantha* cv. Piatã com 12 metros entre renques e 39,5% menor com 22 metros entre renques em relação ao pleno sol (Santos *et al.*, 2018). Sousa *et al.* (2010) encontraram sombreamento de 62% em um sistema silvipastoril formado por 140 árvores/ha de aroeira (*Myracrodruon urundeuva*) e *U. brizantha* cv. Marandu. A RFA foi de 475 $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ na IPF e de 1.211 $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ no pleno sol. Os valores médios de temperatura máxima foram 38,3 °C no pleno sol e 36,0 °C na IPF, uma redução de 2,3 °C. Em condições tropicais, os animais criados em pasto sofrem efeito negativo do estresse térmico, principalmente no verão. As menores radiação e temperatura nos sistemas silvipastoris fornecem melhor ambiência aos animais e possibilitam melhores desempenhos produtivos individuais.

Pezzopane *et al.* (2015) encontraram maior ($p < 0,05$) RFA no pleno sol (7,6 MJ/m²/dia) em relação a dois (4,6 MJ/m²/dia) e a 8,5 metros do renque das árvores (7,0 MJ/m²/dia) em um sistema de IPF formado pela *U. decumbens* cv. Basilisk e as árvores nativas *Anadenanthera colubrina*, *Peltophorum dubium*, *Zeyheria tuberculosa*, *Cariniana estrellensis* e *Piptadenia gonoacantha*. A velocidade do vento foi maior ($p < 0,05$) no pleno sol (1,5 m/s) em relação aos sistemas de IPF (0,7 m/s), uma redução de 47%. Essas diferenças entre o pleno sol e os sistemas silvipastoris promovem proteção para os animais contra o calor ou o frio extremos, fato que pode melhorar o desempenho animal individual nessas áreas. Os autores ainda encontraram maior remoção de umidade

do solo sob o bosque das árvores em relação ao meio das linhas devido à extração causada pelas raízes. Essa maior extração de umidade pode ajudar a explicar a menor produtividade das forrageiras sob o bosque das árvores em decorrência da competição por água.

Valores semelhantes foram encontrados por Soares *et al.* (2009) com RFA três vezes menor na IPF com 15 metros entre renques de eucalipto e três metros entre plantas (2,1 MJ/m²/dia) e seis vezes menor na IPF com nove metros entre renques e três metros entre plantas (1,1 MJ/m²/dia) em relação à radiação no pleno sol (6,3 MJ/m²/dia). A velocidade máxima do vento foi maior no pleno sol (1,8 m/s) em relação à IPF com 15 (1,1 m/s) e nove metros (0,8 m/s) entre renques. A temperatura do solo foi menor nos sistemas silvipastoris, fato que explica a manutenção de maior teor de umidade no solo e maior taxa de decomposição da matéria orgânica nesses sistemas.

Kirchner *et al.* (2010) avaliaram cinco gramíneas temperadas em pleno sol e em dois sistemas de IPF com *Pinus taeda* espaçados de 15 e nove metros entre renques e encontraram menores velocidade do vento, temperatura do solo, umidade relativa média do ar, radiação total incidente e radiação fotossinteticamente ativa nos sistemas de IPF em relação ao pleno sol. A umidade do solo aumentou (p<0,05) em 5,7 e 4,1% nos espaçamentos com 15 e nove metros entre renques em relação ao pleno sol (Tabela 2).

Tabela 2. Variáveis climáticas e umidade do solo em sistemas de IPF formados por forrageiras temperadas e *Pinus taeda*

Variável	Sistemas					
	Pleno sol		15 m entre renques		9 m entre renques	
	07/06	03/07	07/06	03/07	07/06	03/07
Velocidade máxima do vento (m/s)	6,4	1,8	2,9	1,1	2,7	0,8
Temperatura do solo (°C)	15,9	24,3	16,0	21,9	15,2	21,7
Umidade relativa do ar (%)	74,7	78,0	65,5	75,5	70,6	80,9
Radiação global total (MJ/m ² /dia)	10,8	18,8	6,5	8,3	1,1	2,7
RFA (MJ/m ² /dia)	5,3	6,3	3,7	2,1	1,1	1,1
Umidade do solo (%)	—	21,5b	—	27,2a	—	25,6a

Médias seguidas de letras distintas diferem pelo teste de Tukey a 5% de significância. Fonte: Adaptado de Kirchner *et al.* (2010).

Além da quantidade de radiação que atinge o pasto, a qualidade da radiação medida pela relação vermelho/vermelho longe é um importante fator que influencia a produtividade das pastagens. Rodrigues *et al.* (2014) avaliaram três arranjos de IPF e encontraram maior relação vermelho/vermelho longe no centro dos renques (1,085) em relação à posição imediatamente ao lado das árvores (0,626). Esses resultados

demonstram que a competição por luz entre árvores e forrageiras ocorre em quantidade e em qualidade, fato que auxilia na explicação da queda de produtividade dos pastos em IPF.

Kirchner *et al.* (2010) encontraram maior potencial hídrico (ψ_w) em plantas de trevo-branco e ervilhaca sombreadas em relação ao pleno sol. Segundo os autores, o aumento do potencial hídrico é indicativo da diminuição da evapotranspiração das plantas e, junto com a maior umidade do solo, confere maior tolerância às estiagens. Essa observação é importante para explicar o aumento da produtividade de algumas forrageiras em IPF em sistemas implantados em regiões que apresentam baixos índices pluviométricos.

CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DAS PLANTAS FORRAGEIRAS EM INTEGRAÇÃO PECUÁRIA-FLORESTA

A densidade de perfilhos apresenta maiores valores na época chuvosa em relação à época seca. Paciullo *et al.* (2011) encontraram maior ($p < 0,05$) perfilhamento na *U. decumbens* em IPF no verão (450 perfilhos/m²) em relação ao inverno (258 perfilhos/m²) com número máximo de 392 perfilhos/m² a 9,1 m de distância das árvores. Essa variação pode ser atribuída às modificações na morfogênese das plantas em razão das condições climáticas inerentes às estações do ano. A mesma tendência foi observada por Paciullo *et al.* (2016) no *M. maximum* cv. Massai e cv. Tanzânia, com redução do perfilhamento com o aumento do sombreamento.

Paciullo *et al.* (2008) encontraram mais perfilhos na *U. decumbens* no pleno sol e submetida a 18% de sombra em relação a 50% de sombra. Dados semelhantes foram encontrados por Gobbi *et al.* (2009), que obtiveram 1.533, 985 e 647 perfilhos/m² na *U. decumbens* cv. Basilisk submetida a 0, 50 e 70% de sombreamento, respectivamente. A redução da densidade de perfilhos pode estar relacionada ao direcionamento de fotoassimilados aos perfilhos existentes, em detrimento de novas gemas axilares. Outro fator que reduz o perfilhamento é a menor quantidade de radiação que penetra no dossel forrageiro e promove a ativação de gemas axilares e basais para formação de novos perfilhos. Um padrão semelhante foi encontrado por Belesky *et al.* (2011) para as gramíneas temperadas dátilo (*Dactylis glomerata*) e festuca-alta (*Festuca arundinacea*), que perfilharam mais no ambiente não sombreado em comparação com o ambiente sombreado.

As forrageiras cultivadas sob sombreamento tendem a aumentar a proporção e o tamanho dos colmos e suas alturas. Esse comportamento foi observado por Geremia *et al.* (2018), em cujo trabalho a *U. brizantha* cv. Piatã em pleno sol foi mais baixa e apresentou maior relação folha/colmo em relação à IPF com média e alta densidade de árvores de eucalipto. Além disso, as alturas pós-pastejo foram maiores nos sistemas de IPF, que, junto ao menor volume de folhas, geram pior dinâmica de pastejo para os animais e dificultam o manejo do pasto.

Sousa *et al.* (2010) não encontraram variação na relação folha/colmo na *U. brizantha* cv. Marandu em IPF e em pleno sol. Entretanto, a altura das plantas foi maior ($p < 0,05$) sob a sombra (50,0 cm) em relação ao pleno sol (43,3 cm). Essa variação pode ser atribuída ao estiolamento da planta em condições de sombreamento para buscar mais luz. Comportamento semelhante foi verificado por Gobbi *et al.* (2009), que encontraram alturas de 37, 55 e 53 cm na *U. decumbens* cv. Basilisk e de 8, 12 e 12 cm no *Arachis pintoii* cv. Amarillo submetidos a 0, 50 e 70% de sombreamento, respectivamente. Segundo os autores, o aumento da altura do dossel das plantas sob sombra foi diretamente relacionado aos maiores comprimentos do pecíolo, do colmo e da lâmina foliar das plantas. A falta de variação entre 50 e 70% de sombreamento pode ser atribuída ao aumento da área e da curvatura das folhas em condições de maior sombreamento. Santos *et al.* (2018) também atribuíram a menor participação da folha na IPF ao estiolamento da planta.

Gobbi *et al.* (2009) observaram área foliar específica de 210,1, 280,8 e 293,3 cm^2/g na *U. decumbens* cv. Basilisk e comprimento de pecíolo de 4,4, 5,8 e 6,2 cm e área foliar específica de 227,4, 268,9 e 284,7 cm^2/g no *Arachis pintoii* cv. Amarillo submetidos a 0, 50 e 70% de sombreamento, respectivamente. Essas alterações morfológicas objetivam compensar a deficiência de luz e manter a capacidade fotossintética da planta.

Resultados semelhantes foram encontrados por Santos *et al.* (2016), com maior ($p < 0,05$) índice de área foliar (IAF) na *U. brizantha* cv. Piatã em pleno sol (2,5) em relação ao sistema com 12 metros entre renques (1,6), provavelmente devido à menor densidade de perfilhos e à produtividade por área. Entretanto, a área foliar específica foi maior ($p < 0,05$) na IPF com 12 metros (184,6 cm^2/g) em relação à IPF com 22 metros (162,3 cm^2/g) e ao pleno sol (145,3 cm^2/g). Em condições de sombreamento, as folhas apresentam menos tecido de suporte e menor número de células mesófilas por unidade de área, o que resulta em folhas mais finas e com maior área foliar específica.

Santos *et al.* (2018) constataram densidade de forragem de 96 kg ha⁻¹ cm⁻¹ no pleno sol, de 58kg ha⁻¹ cm⁻¹ na IPF com 22 metros entre renques e de 38 kg ha⁻¹ cm⁻¹ na IPF com 12 metros entre renques. A densidade no pleno sol foi 65,5 e 152,6% maior (p<0,05) que na IPF com 22 e 12 metros entre renques. A menor densidade de forragem em sistemas sombreados ocorre em razão da maior altura, do menor número de perfilhos e da menor produção por área. Essas características podem influenciar o comportamento de pastejo e o desempenho dos animais, uma vez que estes passam mais tempo caminhando à procura de forragem no pasto.

Garcez Neto *et al.* (2010) avaliaram a aclimação das forrageiras temperadas azevém-perene (*Lolium perenne* cv. Nui), dátilo (*Dactylis glomerata* cv. Vision) e trevo-vermelho (*Trifolium pratense* cv. Pawera) em resposta a quatro níveis (0, 25, 50 e 75%) de sombreamento e encontraram aumentos entre 22 e 79% na área foliar específica em resposta aos níveis de sombreamento. Além disso, os comprimentos das lâminas foliares aumentaram com o aumento do sombreamento. Comportamento semelhante foi encontrado por Abraham *et al.* (2014) para o dátilo em que o aumento do sombreamento tornou as folhas mais longas e finas, o que resultou em maior área foliar específica. Aumentos nos tamanhos do colmo e da lâmina foliar também foram encontrados por Paciullo *et al.* (2008) na *U. decumbens* submetida a 50% de sombreamento.

As plantas sob o sombreamento moderado apresentam adaptações na relação parte área/raiz com o objetivo de aumentar a proporção de folhas e aumentar a capacidade de fotossíntese. Martuscello *et al.* (2009) encontraram redução na produção de raízes em três espécies de *Urochloa* sp. com resposta linear (p<0,05) ao aumento do nível de sombreamento entre 0 e 70%. Segundo os autores, essa redução no crescimento das raízes afeta diretamente a capacidade de captar água e nutrientes para a planta, podendo reduzir seu acúmulo de forragem.

No mesmo trabalho, os autores avaliaram a intensidade do verde das folhas com o medidor portátil SPAD-502 e encontraram resposta linear e positiva (p<0,05) aos níveis de sombreamento; ou seja, quanto maior o nível de sombreamento, maior a intensidade do verde. Os autores afirmaram que as folhas que se desenvolvem sob sombra moderada apresentam maiores concentrações relativas de clorofila b. Esse aumento pode permitir maior eficiência na absorção de luz menos intensa e manter a taxa fotossintética e o acúmulo de forragem. Resultados semelhantes foram encontrados por Lopes *et al.* (2017), que observaram maior (p=0,0365) teor de clorofila na *U. decumbens* sob 70% de sombreamento em relação a 20% de sombreamento e ao pleno sol.

Outra adaptação de plantas em sombreamento é o menor ponto de compensação de luz do que plantas expostas ao sol pleno. Segundo Guenni *et al.* (2008), as plantas do gênero *Urochloa* sp. apresentam baixa respiração no escuro e baixo ponto de compensação de luz. Essas características possibilitam a manutenção do balanço de carbono positivo sob condições de luminosidade reduzida.

PRODUTIVIDADE DE FORRAGEIRAS EM AMBIENTES SOMBREADOS CONTROLADOS E COM DIFERENTES NÍVEIS DE FERTILIZAÇÃO

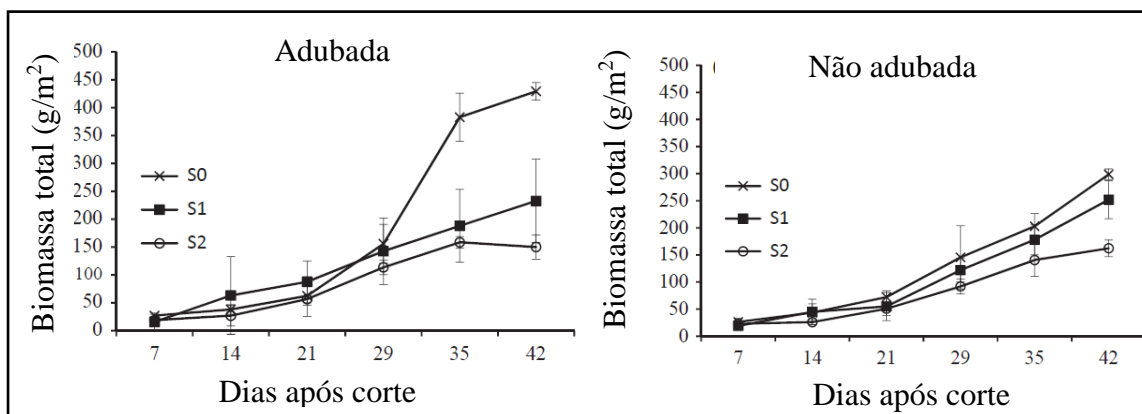
A avaliação de forrageiras em ambientes controlados possui as vantagens de melhor controle das condições ambientais, menor custo das avaliações e menor tempo para observação dos resultados. Gómez *et al.* (2012) utilizaram uma lâmina de polietileno para limitar a radiação que atingia a *U. decumbens* e encontraram maior taxa de fotossíntese com 100% de radiação em relação a 50 e 30%. As produções médias de forragem foram 34 e 57% menores com 50 e 30% de radiação. A redução da produção entre 100 e 30% de radiação aos 35 dias de crescimento foi de 49% e, aos 42 dias de crescimento, a redução foi de 57%, fato que demonstra a menor produção devido à menor taxa de fotossíntese e ao acúmulo de forragem.

Nesse mesmo trabalho, quando as plantas foram adubadas com 70 kg/ha de ureia, o aumento da produção no tratamento sem sombreamento foi ainda maior que nos tratamentos sombreados (Gráfico 1). Esses dados sugerem que a menor taxa de fotossíntese nas plantas com menor radiação reduz a capacidade de resposta a solos com maior disponibilidade de nutrientes. Reis *et al.* (2013) encontraram efeito linear na produção de matéria seca (PMS) da *U. brizantha* cv. Marandu submetida a quatro níveis (0, 47, 53 e 66%) de sombreamento artificial, em que um aumento de 20% no sombreamento reduziu em 10% a produção de matéria seca.

Resultados semelhantes foram observados por Lopes *et al.* (2017), que avaliaram a *U. decumbens* no pleno sol e nos sombreamentos de 20 e 70% com o uso ou não de fertilização (80 kg/ha de N e K₂O e 60 kg/ha de P₂O₅). As produções de massa seca total foram de 1.857 e 2.370 kg/ha no pleno sol sem e com adubação, de 1.627 e 2.015 kg/ha com 20% de sombreamento sem e com adubação e de 1.001 e 956 com 70% de sombreamento sem e com adubação. A forrageira respondeu à adubação no pleno sol e com sombreamento moderado com maior produção ($p < 0,05$), porém, com o sombreamento intenso, não houve resposta ($p > 0,05$) à adubação. Pandey *et al.* (2011) encontraram maiores produções no *M. maximum*, *U. mutica* e *Pennisetum purpureum*

com doses crescentes de nitrogênio (0, 60, 80 e 120 kg/ha) mesmo sob o sombreamento natural de árvores de coco (*Cocos nucifera*). Esses resultados podem estar ligados ao menor sombreamento neste trabalho, que atingiu valor máximo de 59%.

Gráfico 1. Produção de matéria seca da *U. decumbens* adubada e não adubada sob diferentes intensidades de luz (S0: 100% de luz, S1: 50% de luz e S2: 30% de luz)



Fonte: Adaptado de Gómez *et al.* (2012).

As produtividades das forrageiras em IPF sofrem influência direta da RFA que atinge as plantas. Em sistemas com alto adensamento e/ou que utilizam árvores com copas grandes, há uma drástica redução na taxa de fotossíntese e na produção de forragem. Segundo Martuscello *et al.* (2009), as forragens do gênero *Megathyrus* sp. apresentam maior tolerância ao sombreamento que as do gênero *Urochloa* sp. Além disso, as plantas com crescimento cespitoso são mais tolerantes que as plantas com crescimento decumbente, possivelmente pela maior facilidade de alongar o colmo e de buscar a luz.

PRODUTIVIDADE DA *U. DECUMBENS* EM SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO PECUÁRIA-FLORESTA

Paciullo *et al.* (2011) avaliaram a produção da *U. decumbens* em diferentes distâncias do renque das árvores (0, 3, 6, 9, 12 e 15 metros) e encontraram maior produção de massa seca de forragem verde, massa seca de forragem morta e massa seca de forragem total em 10,4, 14,8 e 12,9 metros de distância das árvores. Os sombreamentos de 60% sob as árvores e de 43% a três metros de distância das árvores são considerados excessivos para o adequado crescimento das gramíneas do gênero *Urochloa* sp. O sombreamento a partir de seis metros do renque das árvores é considerado moderado (Guenni *et al.*, 2008).

Lopes *et al.* (2017) avaliaram a produtividade da *U. decumbens* em monocultivo e em IPF com renques de eucalipto formados por quatro linhas com três metros entre linhas, três metros entre plantas e 30 metros entre renques. Como resultado, os autores encontraram maior ($p < 0,05$) produção de matéria seca digestível no pleno sol (1.917

kg/ha). Em comparação com a produção observada a 10 metros de distância das árvores, houve uma redução de 15,8% (1.614 kg/ha) e, em comparação com a produção obtida sob a copa das árvores, a redução foi de 59,5% (776 kg/ha).

Segundo Paciullo *et al.* (2011), é difícil conciliar o máximo benefício do sombreamento em relação ao aumento do teor proteico do pasto e a redução da taxa de acúmulo de forragem. O sombreamento superior a 30% a até 6 m de distância do renque das árvores propiciou maior teor proteico na forragem, mas foi prejudicial ao perfilhamento e ao acúmulo de forragem. Nesse trabalho, os autores indicaram espaçamentos entre 14 e 18 m entre renques devido às maiores taxas de acúmulo de PB e de matéria seca (MS) estimadas a, aproximadamente, 7 e 9 m de distância dos renques. Dessa forma, seria possível obter melhores rendimentos pecuários e madeireiros em relação a sistemas com outros espaçamentos.

Em pastagens de *Urochloa* sp. com sombreamento moderado (redução de 25 a 35% da RFA), têm-se obtido produções de forragem semelhantes ou maiores do que em pleno sol. Nessas condições, as plantas apresentam ajustes morfofisiológicos, como aumentos da relação parte aérea/raiz, da área foliar específica, da taxa de alongamento foliar (Paciullo *et al.*, 2008) e dos alongamentos de caules, de pecíolos e de entrenós (Gobbi *et al.*, 2009), que permitem a manutenção da produtividade. Em locais sombreados, o maior teor de umidade no solo associado à temperatura moderada pode aumentar a decomposição da matéria orgânica e a taxa de mineralização e ciclagem de nitrogênio. Essas características podem aumentar a produção de forragem em locais sombreados em regiões onde há rigoroso déficit hídrico.

Paciullo *et al.* (2009) avaliaram a *U. decumbens* consorciada com *Stylosanthes guianensis* cv. Mineirão em IPF com o *Eucalyptus grandis* e as leguminosas arbóreas *Acacia mangium*, *Acacia angustissima*, *Mimosa artemisiana* em renques formados por quatro linhas (uma linha de cada espécie arbórea) espaçadas de 3 metros entre linhas, 3 metros entre plantas e 30 metros entre renques, e não encontraram diferença ($p > 0,05$) de produtividade na *U. decumbens* em relação ao pleno sol. Entretanto, houve diferença ($p < 0,05$) entre as épocas do ano, com produção de 1.525 kg MS ha⁻¹ no verão e de 964 kg MS ha⁻¹ no inverno. A inserção da leguminosa nas pastagens de gramíneas perenes objetiva maior fixação de nitrogênio e melhoria do teor de PB do pasto. Todavia, o estilosantes esteve presente na pastagem apenas na época seca, provavelmente em razão da baixa tolerância ao sombreamento, da baixa capacidade de ressemeadura natural, da preferência animal e da competição com a gramínea.

Os principais arranjos de IPF no Brasil são formados por eucalipto e diferentes espécies de forrageira do gênero *Urochloa* sp. Entretanto, a utilização de espécies nativas também pode ser interessante nesses sistemas, sobretudo com o objetivo de realizar o reflorestamento natural de áreas nativas. Bosi *et al.* (2014) avaliaram a produtividade da *U. decumbens* cv. Basilisk em IPF formada por renques espaçados de 17 m com as árvores nativas angico-branco (*Anadenanthera colubrina*), canafístula (*Peltophorum dubium*), ipê-felpudo (*Zeyheria tuberculosa*), jequitibá-branco (*Cariniana estrellensis*), pau-jacaré (*Piptadenia gonoacantha*), mutambo (*Guazuma ulmifolia*) e capixingui (*Croton floribundus*). O comportamento produtivo foi semelhante aos arranjos com eucalipto, e os autores observaram redução da produtividade com níveis de sombra acima de 39%. Além disso, a produtividade a seis metros do renque foi maior que a dois metros dele.

PRODUTIVIDADE DA *U. BRIZANTHA* EM SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO PECUÁRIA-FLORESTA

Sousa *et al.* (2010), em um sistema de IPF composto de aroeira (*Myracrodruon urundeuva*) com 140 árvores/ha e *U. brizantha* cv. Marandu, maior ($p < 0,05$) observaram produção de matéria seca no pleno sol com 1,3 Mg/ha em relação à IPF com 1,1 Mg/ha, uma redução de 15,4%. Produções semelhantes foram encontradas por Sousa *et al.* (2007), em cujo trabalho a *U. brizantha* cv. Marandu em pleno sol (1,2 Mg/ha) foi superior ($p > 0,05$) à IPF com a espécie arbórea bolsa-de-pastor (*Zeyheria tuberculosa*) com 160 árvores/ha (1,7 Mg/ha), uma redução de 29,41%.

Oliveira *et al.* (2014) encontraram produções de matéria seca na *U. brizantha* cv. Piatã de 7.274 kg MS/ha no pleno sol, de 4.781 kg MS/ha na IPF formada com eucalipto com 22 m entre renques e de 3.441 kg MS/ha na IPF com 14 m entre renques, o que representa reduções de 34,3 e 52,7%. Já Santos *et al.* (2016) observaram redução de 42,8 kg/ha de matéria seca de forragem na *U. brizantha* cv. Piatã a cada 1% de redução de RFA. O acúmulo de massa seca de forragem no período chuvoso foi maior ($p < 0,05$) no pleno sol em relação à IPF com 12 (SSP12) e com 22 (SSP22) metros entre renques, o que representa reduções de 50,5% no SSP22 e de 67,5% no SSP12 (Tabela 3). A proximidade dos renques de eucalipto, a disputa por água, a redução da RFA e o plantio no sentido norte-sul foram citados como motivos para essa redução.

Tabela 3. Taxa de acúmulo (kg/ha/dia) e massa seca acumulada (kg/ha) do capim-piatã em área sem árvores (controle) e em sistema silvipastoril com *Eucalyptus urograndis*, com espaçamento entre renques de 22 m (SSP22) e 12 m (SSP12), nos períodos chuvoso e seco

Arranjo	Taxa de acúmulo (kg/ha/dia)		Massa seca acumulada (kg/ha)	
	Verão	Inverno	Verão	Inverno
Controle	64,5Aa	15,0Ba	11664Aa	2044Ba
SSP22	31,1Ab	10,0Ba	5774Ab	1747Ba
SSP12	20,0Ab	7,3Ba	3796Ab	1186Ba

Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas na linha e minúscula na coluna, diferem pelo teste de Tukey a 5% de significância. Fonte: Adaptado de Santos *et al.* (2016).

Na mesma área experimental, Santos *et al.* (2018) verificaram redução na RFA de 21,9% no SSP12 e de 39,5% no SSP22. A disponibilidade de matéria seca de forragem nas águas, em kg/ha, foi de 3.557 no pleno sol, de 2.601 no SSP22 e de 1.882 no SSP12 e, na seca, foi de 3.940 no pleno sol, de 2.174 no SSP22 e de 1.639 no SSP12, sem diferença ($p > 0,05$) entre as estações (Tabela 4). Na estação chuvosa, a disponibilidade de forragem do pleno sol foi 0,37 vez maior ($p < 0,05$) quando comparada com o SSP22 e 0,9 vez maior quando comparada com o SSP12. Na seca, a disponibilidade de forragem no pleno sol foi 0,8 e 1,4 vezes maior quando comparada com os sistemas SSP22 e SSP12.

Tabela 4. Disponibilidade de massa seca de forragem (kg/ha) do capim-piatã em pleno sol e IPF com *Eucalyptus urograndis* com espaçamento entre renques de 22 m (SSP22) e de 12 m (SSP12) nos períodos chuvoso e seco

Tratamento	Disponibilidade de MS (kg/ha)	
	Verão	Inverno
Controle	3557Aa	3940Aa
SSP22	2601Ab	2174Ab
SSP12	1882Ac	1639Ab

Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas na linha e minúscula na coluna, diferem pelo teste de Tukey a 5% de significância. Fonte: Adaptado de Santos *et al.* (2018).

Barros *et al.* (2018) utilizaram espaçamentos semelhantes em sistemas de IPF formados por *U. brizantha* cv. Piatã e linhas simples de eucalipto espaçadas de 14 e de 22 metros. A produtividade total durante o ano foi maior ($p < 0,05$) no pleno sol, com reduções de 38,9% na IPF com 22 metros entre renques e de 70,3% na IPF com 14 metros

entre renques. Essas reduções nas produtividades demonstram que as gramíneas com maiores capacidades produtivas sofrem, de forma mais acentuada, o efeito do sombreamento. Resultados semelhantes foram observados por Geremia *et al.* (2018), que, além da maior produtividade de *U. brizantha* cv. Piatã em pleno sol em relação a sistemas de IPF, também encontraram menor intervalo de pastejo no pleno sol. Esse menor intervalo de pastejo é resultante das maiores taxas de fotossíntese e de crescimento da gramínea em pleno sol.

PRODUTIVIDADE DE FORRAGEIRAS DO GÊNERO *MEGATHYRSUS* EM SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO PECUÁRIA-FLORESTA

Santiago-Hernandez *et al.* (2015) encontraram produções de matéria seca média no verão de 8.236 kg/ha/ano no *M. maximum* cv. Mombaça e cv. Tanzânia em pleno sol e de 3.612 kg/ha/ano sob sombra, uma redução de 56,1%. No inverno, as produções foram de 1.276 no pleno sol e de 1.071 sob sombra.

Soares *et al.* (2009) avaliaram 11 forrageiras em pleno sol e em IPF com nove e 15 metros entre renques de *Pinus taeda*, e a produtividade média de todas as espécies foi maior ($p < 0,05$) no pleno sol, com 19.482 kg MS/ha em relação à IPF com 15 metros, com produção de 11.556 kg MS/ha. Esse arranjo também foi superior ($p < 0,05$) à IPF com 9 metros entre renques, com produção de 4.452 kg MS/ha, reduções de 40,6 e 77,1% (Tabela 5).

O comportamento produtivo da forragem na IPF com 9 metros entre renques variou menos entre a copa das árvores e o meio do renque em relação à IPF com 15 metros entre renques. Além disso, as forrageiras tropicais do gênero *Megathyrsus* sp. e *Urochloa* sp. alteraram mais a produção entre a copa e o meio do renque na IPF com 15 metros em relação às leguminosas do gênero *Arachis*. Essa variação entre os sistemas pode ser associada ao maior sombreamento, tanto sob a copa quanto no meio do renque no sistema mais adensado. No sistema de IPF menos adensado, o sombreamento é proporcionalmente menor no meio do renque, possibilitando maior resposta das forrageiras tropicais devido à rota metabólica C4.

Tabela 5. Produção de matéria seca (kg/ha) de 11 espécies forrageiras submetidas a diferentes densidades de *Pinus taeda*

Espécie	Pleno sol	15 X 3		9 X 3	
		Copa	Meio	Copa	Meio
<i>M. maximum</i> cv. Aruana	27.818aA	9.784cC	20.447bB	2.285efD	2.708cdD
<i>U. brizantha</i> cv. Marandu	26.186abA	19.866aB	25.375aA	7.166bC	11.802aC
<i>Axonopus</i> <i>catharinensis</i>	24.835bcA	19.153aB	18.850bB	10.151aC	12.401aC
<i>Cynodon dactylon</i> hib. Tifton-85	24.014bcA	7.410dBC	9.553eB	5.260bcC	5.080bC
<i>U. decumbens</i> cv. Basilisk	23.229cdA	13.459bB	8.697eC	4.703cdC	6.254bC
<i>Hemarthria altissima</i> cv. Florida	21.118dA	9.741cdBC	12.874dB	6.454bcC	6.943bC
<i>M. maximum</i> cv. Tanzânia	21.072dA	12.256bB	15.535cAB	941efC	1.095deC
<i>Paspalum notatum</i> cv. Pensacola	17.352eA	8.608cdC	12.626dB	0fD	0fD
<i>M. maximum</i> cv. Mombaça	13.740fA	13.852bA	10.012eAB	2.568deC	4.683bcBC
<i>Arachis pintoi</i> cv. Alqueire	6.092gA	2.867eB	2.717fB	715efC	1.171deC
<i>Arachis pintoi</i> cv. Amarillo	6.014gA	2.396eB	2.009fB	1.124efB	1.080deB

Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, diferem pelo teste de Tukey a 5% de significância. Fonte: Adaptado de Soares *et al.* (2009).

PRODUTIVIDADE DE FORRAGEIRAS EM INTEGRAÇÃO PECUÁRIA-FLORESTA EM REGIÕES COM BAIXO ÍNDICE PLUVIOMÉTRICO

Alguns autores citam que, em locais onde há déficits hídricos recorrentes ou baixa qualidade dos solos, as pastagens podem aumentar sua produtividade em condições de sombreamento devido ao aumento da umidade e da fertilidade do solo (Paciullo *et al.*, 2011). Lacerda *et al.* (2009) avaliaram a produtividade do *Andropogon gayanus* sob o sombreamento natural das árvores nativas pau-d'arco (*Tabebuia serratifolia*) e jatobá (*Hymenaea courbaril*) e encontraram maior ($p < 0,05$) produtividade nos sistemas de IPF (11.845 kg/ha de matéria verde) em relação ao pleno sol (8.630 kg/ha de matéria verde). Os autores ainda citaram o maior teor de cálcio (Ca) e de potássio (K) no solo como indicador de maior ciclagem de nutriente e como uma das causas dessa maior produção nos sistemas integrados.

Veras *et al.* (2010) também avaliaram a produtividade do *Andropogon gayanus* sob o sombreamento natural das árvores nativas pau-d'arco (*Tabebuia serratifolia*) e

jatobá (*Hymenaea courbaril*) no nordeste brasileiro e não encontraram diferença ($p>0,05$) entre os sistemas integrados e o pleno sol. Em condições de altas temperaturas e baixa precipitação, a sombra pode não ter efeito deletério na produtividade do capim e aumentar a lucratividade do sistema. Entretanto, Mishra *et al.* (2010) avaliaram a produtividade do capim-buffel (*Cenchrus ciliaris*) sob a sombra da acácia (*Acacia tortilis*) e, mesmo em ambiente com baixa precipitação e altas temperaturas, encontraram maior produção em pleno sol (6,02 Mg/ha) em relação à IPF (3,72 Mg/ha), o que representa redução de 38%.

PRODUTIVIDADE DE GRAMÍNEAS TEMPERADAS EM SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO PECUÁRIA-FLORESTA

Kirchner *et al.* (2010) avaliaram as forrageiras temperadas aveia-preta (*Avena strigosa* Schreb), aveia-branca (*Avena sativa* L.), azevém (*Lolium multiflorum*), trigo duplo-propósito (*Triticum aestivum*) e ervilhaca-peluda (*Vicia villosa*) e encontraram menores produções em todas as espécies nos sistemas sombreados. As produções médias foram de 6.095 kg MS/ha no pleno sol, de 2.595 kg MS/ha na IPF com *Pinus taeda* com 15 m entre renques e de 1.150 kg MS/ha com *Pinus taeda* com 9 m entre renques (Tabela 6). Essas reduções confirmam o efeito negativo da restrição de radiação também nas forrageiras temperadas com rota metabólica C3. Segundo os autores, a ervilhaca, o trigo duplo-propósito e o azevém foram as espécies mais adaptadas ao sombreamento, porém o sombreamento mais intenso reduziu em 81% a produção de forragem, que não foi compensada pelo maior teor de umidade no solo.

Tabela 6. Produtividade (kg/ha) da aveia-preta, aveia-branca, azevém, trigo duplo-propósito e ervilhaca-peluda em dois sistemas de IPF e em pleno sol (PS)

Espécie	Sistemas					
	Pleno sol		15 m entre renques		9 m entre renques	
	Produtividade		Produtividade	% do PS	Produtividade	% do PS
Aveia-preta	4.550Ac		1.963bB	43	369Cc	8
Aveia-branca	7.815Aab		2.808bAB	38	974Bb	13
Azevém	8.191Aa		3.478bA	43	1.814Ca	22
Trigo	5.147Abc		2.393bAB	46	1.300Bab	25
Ervilhaca	4.771Ac		2.300bAB	48	1.292Bab	27
Média	6.095		2.595	43	1.150	19

Médias seguidas de letras distintas, minúsculas nas linhas e maiúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de significância. Fonte: Adaptado de Kirchner *et al.* (2010).

Gobbi *et al.* (2009) encontraram produções de matéria seca de 1.763, 1.345 e 1.258 kg MS/ha no amendoim forrageiro em pleno sol e submetido a 50 e 70% de sombreamento, respectivamente. As produtividades reduziram 28,64 e 23,71% com os

sombreamentos de 70 e 50% em relação ao pleno sol. Abraham *et al.* (2014) avaliaram a pastagem nativa de *Dactylis glomerata* e observaram reduções na produtividade entre 21 e 60%, quando o pasto foi submetido a 60% de sombreamento, e reduções entre 61 e 74%, com 90% de sombreamento. Reduções semelhantes nas produtividades com aumento do sombreamento foram encontradas por Kyriazopoulos *et al.* (2012) no trevo-mediterrâneo (*Trifolium subterraneum*) e por Devkota *et al.* (2009) nas gramíneas temperadas azevém perene (*Lolium perenne*), nevoeiro-de-Yorkshire (*Holcus lanatus*) e dátilo (*Dactylis glomerata*) semeado com trevo-branco (*Trifolium repens*) e dátilo semeado com lótus (*Lotus pedunculatus*), submetidos a 100, 81, 23 e 12% de luz.

O consórcio entre gramíneas tropicais e leguminosas é uma alternativa para melhorar a qualidade nutricional do pasto e o desempenho animal. Paciullo *et al.* (2014) avaliaram, por três anos, um sistema de IPF formado por pasto de *U. decumbens*, *Stylosanthes* spp., *Pueraria phaseoloides* e *Calopogonium mucunoides* e 100 árvores/ha das leguminosas *Acacia mangium*, *Gliricidia sepium* e *Leucaena leucocephala* e um sistema de pasto em pleno sol formado por *U. decumbens* e *Stylosanthes* spp. Não houve diferença ($p>0,05$) na produtividade de pasto entre os sistemas; a participação total média das leguminosas no pasto foi de 9% e o valor máximo atingido foi de 18,9%. A baixa participação das leguminosas foi atribuída à baixa tolerância ao sombreamento, à baixa capacidade de ressemeadura natural, à alta palatabilidade e à preferência animal.

Resultados semelhantes foram encontrados por Rodrigues *et al.* (2018), que avaliaram o pasto de *U. brizantha* cv. Marandu e estilosantes Campo Grande (*Stylosanthes capitata* + *Stylosanthes macrocephala*) em pleno sol e em IPF e verificaram que a leguminosa participou de 6,04% do pasto na IPF e de 3,59% no pasto do pleno sol. A maior participação da leguminosa nos pastos em IPF foi atribuída à menor competição com o capim-marandu, uma vez que o capim reduziu sua produção sob a sombra.

INFLUÊNCIA DO ARRANJO DAS ÁRVORES NA PRODUTIVIDADE DE FORRAGEIRAS EM SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO PECUÁRIA-FLORESTA

O plantio das árvores em linhas simples ou múltiplas pode afetar a produtividade das pastagens em sistemas de IPF. Em sistemas com mesmo espaçamento entre renques, mas com linhas múltiplas, a RFA que atinge o pasto e a produtividade do pasto são reduzidas. Coelho *et al.* (2014) encontraram maior radiação incidente e interceptada na IPF formada por *U. decumbens* cv. Basilisk e eucalipto com linhas simples em comparação ao arranjo com linhas duplas, fato que demonstra a interferência do arranjo

das linhas nas condições ambientais do sistema de IPF. Nesse trabalho, os autores não encontraram diferença na PMS da *U. decumbens* cv. Basilisk sob a sombra de eucalipto plantado em linhas simples ou duplas. Entretanto, a metodologia utilizada avaliou a produção da forragem apenas a 1,5 m das árvores em sentido ao meio dos renques. Portanto, a área entre as linhas das árvores que apresenta baixa produção de forragem não foi considerada na estimativa da produção por área.

A alta densidade de árvores em IPF, além de aumentar o sombreamento, aumenta a disputa por água com as forrageiras, fato que pode ajudar na redução da produtividade por área. Essa redução limita a utilização de arranjos com renques próximos quando o objetivo principal da propriedade é a produção animal. Dessa forma, é necessário avaliar o mercado no qual a propriedade está inserida antes de decidir qual o melhor espaçamento entre os renques (Rodrigues *et al.*, 2014).

Outro fator que pode influenciar a produtividade das forragens em IPF são as espécies e os cultivares das árvores utilizadas. Oliveira *et al.* (2015) avaliaram cinco clones de eucalipto em três arranjos espaciais e observaram variação na altura das árvores, no diâmetro das árvores à altura do peito (*dbh*), no índice de área foliar e na produção de forragem entre os clones. Essa variação pode ser atribuída às características da copa, à idade, aos arranjos espaciais, à direção de plantio e ao manejo das árvores. Alguns manejos, como a poda, o desbaste e o corte precoce, podem melhorar a produtividade das forrageiras em IPF.

A idade das árvores e suas alturas também podem influenciar a produtividade dos pastos. O aumento da altura em árvores mais velhas pode reduzir ainda mais a produtividade do pasto sob essas árvores. Souza *et al.* (2010) avaliaram as condições microclimáticas de sistemas de IPF com árvores de oito, 18 e 28 metros de altura e encontraram menor temperatura do globo negro, velocidade do vento, índice de umidade em globo negro, índice de carga térmica radiante e índice de carga térmica com 28 metros de altura das árvores.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os sistemas integrados de produção agropecuária se caracterizam como alternativas para o desenvolvimento sustentável, que conciliam produção e preservação ambiental. Os arranjos, as espécies arbóreas e as forrageiras influenciam diretamente a qualidade e a produtividade das pastagens no sistema. Observam-se reduções na radiação que atinge o pasto e na produtividade do pasto em sistemas de IPF com arranjos

adensados. O conhecimento dessas variações produtivas é importante para embasar o planejamento e a implementação desses sistemas. Em situações em que o objetivo principal é a produção de madeira, devem-se empregar arranjos mais densos, entretanto, quando o objetivo for a produção animal, devem-se utilizar espaçamentos maiores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abraham, E. M.; Kyriazopoulos, A. P.; Parissi, Z. M.; Kostopoulou, P.; Karatassiou, M.; Anjalanidou, K.; Katsouta, C. 2014. Growth, dry matter production, phenotypic plasticity, and nutritive value of three natural populations of *Dactylis glomerata* L. under various shading treatments. *Agroforestry systems*, v. 88, n. 2, p. 287-299, doi: 10.1007/s10457-014-9682-9.
- Alves, B. J.; Madari, B. E.; Boddey, R. M. 2017. Integrated crop–livestock–forestry systems: prospects for a sustainable agricultural intensification. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v. 1, n. 108, p. 1-4, doi: 10.1007/s10705-017-9851-0.
- Balbino, L. C.; Cordeiro, L. A. M.; Porfírio-da-Silva, V.; Moraes, A. D.; Martínez, G. B.; Alvarenga, R. C.; Kichel, A. N.; Fontaneli, R. S.; Santos, H. P.; Franchini, J. C.; Galerani, P. R. 2011. Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 46, n. 10, p. 1-12, doi: 10.1590/S0100-204X2011001000001.
- Baliscei, M. A.; Barbosa, O. R.; Souza, W. D.; Costa, M. A. T.; Krutzmann, A.; Queiroz, E. D. O. 2013. Microclimate without shade and silvopastoral system during summer and winter. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, v. 35, n. 1, p. 49-56, doi: 10.4025/actascianimsci.v35i1.15155.
- Barros, J. S.; Castro, L. C. S.; Silva, F. D. L.; Alves, F. V.; Almeida, R. G. D.; Santos, D. M. D.; Loures, D. R. S. 2018. Productive and nutritional characteristics of Piatã-grass in integrated systems. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, v. 19, n. 2, p. 144-156, doi: 10.1590/S1519-99402018000200001.
- Belesky, D. P.; Burner, D. M.; Ruckle, J. M. 2011. Tiller production in cocksfoot (*Dactylis glomerata*) and tall fescue (*Festuca arundinacea*) growing along a light gradient. *Grass and Forage Science*, v. 66, n. 3, p. 370-380, doi: 10.1111/j.1365-2494.2011.00796.x.
- Bosi, C.; Pezzopane, J. R. M.; Sentelhas, P. C.; Santos, P. M.; Nicodemo, M. L. F. 2014. Produtividade e características biométricas do capim-braquiária em sistema silvipastoril. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 49, n. 6, p. 449-456, doi: 10.1590/S0100-204X2014000600006.
- Coelho, J. S.; Araújo, S. A. C.; Viana, M. C. M.; Villela, S. D. J.; Freire, F. M.; Santos Braz, T. G. 2014. Morfofisiologia e valor nutritivo do capim-braquiária em sistema silvipastoril com diferentes arranjos espaciais. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 35, n. 3, p. 1487-1499, doi: 10.5433/1679-0359.2014v35n3p1487.
- Cordeiro, L. A. M.; Vilela, L.; Marchão, R. L.; Kluthcouski, J.; Martha Junior, G. B. 2015. Integração lavoura-pecuária e integração lavoura-pecuária-floresta: estratégias para intensificação sustentável do uso do solo. *Cadernos de Ciência e Tecnologia*. v. 32, n. 1, p. 15-43.
- Devkota, N. R.; Kemp, P. D.; Hodgson, J.; Valentine, I.; Jaya, I. K. D. 2009. Relationship between tree canopy height and the production of pasture species in a silvopastoral system based on alder trees. *Agroforestry systems*, v. 76, n. 2, p. 363-374, doi: 10.1007/s10457-008-9192-8.
- Garcez Neto, A.; Garcia, R.; Moot, D. J.; Gobbi, K. F. 2010. Aclimação morfológica de forrageiras temperadas a padrões e níveis de sombreamento. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 39, n. 1, p. 42-50, doi: 10.1590/S1516-35982010000100006.
- Geremia, E. V.; Crestani, S.; Mascheroni, J. D. C.; Carnevalli, R. A.; Mourão, G. B.; da Silva, S. C. 2018. Sward structure and herbage intake of *Brachiaria brizantha* cv. Piatã in a crop-livestock-forestry integration area. *Livestock Science*, v. 212, p. 83-92, doi: 10.1016/j.livsci.2018.03.020.
- Gil, J.; Siebold, M.; Berger, T. 2014. Adoption and development of integrated crop–livestock–forestry systems in Mato Grosso, Brazil. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 199, p. 394-406, doi: 10.1016/j.agee.2014.10.008.
- Gobbi, K. F.; Garcia, R.; Garcez Neto, A. F.; Pereira, O. G.; Ventrella, M. C.; Rocha, G. C. 2009. Características morfológicas, estruturais e produtividade do capim-braquiária e do amendoim forrageiro submetidos ao sombreamento. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 38, n. 9, p. 1645-1654, doi: 10.1590/S1516-35982009000900002.

- Gomes, F. J.; Pedreira, C. G.; Bosi, C.; Cavalli, J.; Holschuch, S. G.; Mourão, G. B.; Pereira, D. H.; Pedreira, B. C. 2019. Shading effects on Marandu palisadegrass in a silvopastoral system: Plant morphological and physiological responses. *Agronomy Journal*, v. 111, n. 5, p. 2332-2340, doi: 10.2134/agronj2019.01.0052.
- Gómez, S.; Guenni, O.; Guenni, B. L. 2012. Growth, leaf photosynthesis and canopy light use efficiency under differing irradiance and soil N supplies in the forage grass *Brachiaria decumbens* Stapf. *Grass and Forage Science*, v. 68, n. 3, p. 395-407, doi: 0.1111/gfs.12002.
- Guenni, O. S. S. F. R.; Seiter, S.; Figueroa, R. 2008. Growth responses of three *Brachiaria* species to light intensity and nitrogen supply. *Tropical Grasslands*, v. 42, n. 2, p. 75-87, doi: 10.1111/gfs.12368.
- Guenni, O.; Romero, E.; Guédez, Y.; Guenni, L. B.; Pittermann, J. 2018. Influence of low light intensity on growth and biomass allocation, leaf photosynthesis and canopy radiation interception and use in two forage species of *Centrosema* (DC). Benth. *Grass Forage Science*. 73:967–978. doi: 10.1111/gfs.12368.
- Santiago-Hernández, F.; López-Ortiz, S.; Ávila-Reséndiz, C.; Jarillo-Rodríguez, J.; Pérez-Hernández, P.; Guerrero-Rodríguez, J.D. 2015. Physiological and production responses of four grasses from the genera *Urochloa* and *Megathyrsus* to shade from *Melia azedarach* L. *Agroforestry systems*, v.90, n.2, p.339-349, doi: 10.1007/s10457-015-9858-y.
- Kirchner, R.; Soares, A. B.; Sartor, L. R.; Adami, P. F.; Migliorini, F.; Fonseca, L. 2010. Desempenho de forrageiras hibernais sob distintos níveis de luminosidade. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 39, n. 11, p. 2371-2379, doi: 10.1590/S1516-35982010001100009.
- Kyriazopoulos, A. P.; Abraham, E. M.; Parissi, Z. M.; Koukoura, Z.; Nastis, A. S. 2013. Forage production and nutritive value of *Dactylis glomerata* and *Trifolium subterraneum* mixtures under different shading treatments. *Grass and forage Science*, v. 68, n. 1, p. 72-82, doi: 10.1111/j.1365-2494.2012.00870.x.
- Lacerda, M. D. S. B.; Alves, A. A.; Oliveira, M. E.; Rogério, M. C. P.; Carvalho, T. B.; Veras, V. S. 2009. Composição bromatológica e produtividade do capim-andropógon em diferentes idades de rebrota em sistema silvipastoril. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, v. 31, n. 2, p. 123-129, doi: 10.4025/actascianimsci.v31i2.4549.
- Lemaire, G.; Franzluebbers, A.; Carvalho, P. C. F.; Dedieu, B. 2013. Integrated crop–livestock systems: Strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 190, p. 4-8, doi: 10.1016/j.agee.2013.08.009.
- Lopes, C. M.; Paciullo, D. S. C.; Araújo, S. A. C.; GOMIDE, C. D. M.; Morenz, M. J. F.; Villela, S. D. J. 2017. Massa de forragem, composição morfológica e valor nutritivo de capim-braquiária submetido a níveis de sombreamento e fertilização. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v. 69, n. 1, p. 225-233, doi: 10.1590/1678-4162-9201.
- Martuscello, J. A.; Jank, L.; Gontijo Neto, M. M.; Laura, V. A.; Cunha, D. N. F. V. 2009. Produção de gramíneas do gênero *Brachiaria* sob níveis de sombreamento. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 38, n. 7, p. 1183-1190, doi: 10.1590/S1516-35982009000700004.
- Mishra, A. K.; Tiwari, H. S.; Bhatt, R. K. 2010. Growth, biomass production and photosynthesis of *Cenchrus ciliaris* L. under *Acacia tortillis* (Forssk) Hayne based silvopastoral systems in semi arid topics. *Journal of Environmental Biology*, v. 31, n. 6, p. 987-993.
- Nascimento, H. L. B.; Pedreira, B. C.; Sollenberger, L. E.; Pereira, D. H.; Magalhaes, C. A. S.; Chizzoti, F. H. M. 2019. Physiological characteristics and forage accumulation of grazed Marandu palisade grass (*Brachiaria brizantha*) growing in monoculture and in silvopasture with *Eucalyptus urograndis*. *Crop Pasture Science*. v. 70, p. 384–394, doi: 10.1071/CP18403.
- Oliveira, C. C.; Villela, S. D. J.; Almeida, R. G.; Alves, F. V.; Behling-Neto, A.; Almeida Martins, P. G. M. 2014. Performance of Nellore heifers, forage mass, and structural and nutritional characteristics of *Brachiaria brizantha* grass in integrated production systems. *Tropical animal health and production*, v. 46, n. 1, p. 167-172, doi: 10.1007/s11250-013-0469-1.

- Oliveira, C. H.; Reis, G. G.; Reis, M. G.; Leite, H. G.; Souza, F. C.; Faria, R. S.; Oliveira, F. B. 2015. Dynamics of eucalypt clones canopy and *Brachiaria brizantha* production in silvopastoral systems with different spatial arrangements. *Agroforestry systems*, v. 90, n. 6, p. 1077-1088, doi: 10.1007/s10457-015-9884-9.
- Paciullo, D. S. C.; Campos, N. R.; Gomide, C. A. M.; Castro, C. R. T. De.; Tavela, R. C.; Rossiello, R. O. P. 2008. Crescimento de capim-braquiária influenciado pelo grau de sombreamento e pela estação do ano. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 43, n. 7, p. 917-923, doi: 10.1590/S0100204X2008000700017.
- Paciullo, D. S. C.; Gomide, C. A. M.; de Castro, C. R. T.; Fernandes, P. B.; Müller, M. D.; Pires, M. F. Á.; Fernandes, E. L.; Xavier, D. F. 2011. Características produtivas e nutricionais do pasto em sistema agrossilvipastoril, conforme a distância das árvores. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 46, p. 1176-1183, 2011, doi: 10.1590/S0100-204X2011001000009.
- Paciullo, D. S. C.; Lopes, F. C. F.; Junior, J. D. M.; Viana Filho, A.; Rodriguez, N. M.; Morenz, M. J. F.; Aroeira, L. J. M. 2009. Características do pasto e desempenho de novilhas em sistema silvipastoril e pastagem de braquiária em monocultivo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 44, n. 11, p. 1528-1535, doi: 10.1590/S0100-204X2009001100022.
- Paciullo, D. S. C.; Pires, M. F. A.; Aroeira, L. J. M.; Morenz, M. J. F.; Maurício, R. M.; Gomide, C. A. M.; Silveira, S. R. 2014. Sward characteristics and performance of dairy cows in organic grass-legume pastures shaded by tropical trees. *Animal*, v. 8, n. 8, p. 1264-1271, doi: 10.1017/S1751731114000767.
- Paciullo, D. S. C.; Gomide, C. D. M.; Castro, C. R. T.; Maurício, R. M.; Fernandes, P. B.; Morenz, M. J. F. 2016. Morphogenesis, biomass and nutritive value of *Panicum maximum* under different shade levels and fertilizer nitrogen rates. *Grass and Forage Science*, v.72, n.3, p.590-600, doi: 10.1111/gfs.12264.
- Pandey, C. B.; Verma, S. K.; Dagar, J. C.; Srivastava, R. C. 2011. Forage production and nitrogen nutrition in three grasses under coconut tree shades in the humid-tropics. *Agroforestry Systems*, v. 83, n. 1, p. 1-12, doi: 10.1007/s10457-011-9407-2.
- Pezzopane, J. R. M.; Bosi, C.; Nicodemo, M. L. F.; Santos, P. M.; Cruz, P. G. D.; Parmejiani, R. S. 2015. Microclimate and soil moisture in a silvopastoral system in southeastern Brazil. *Bragantia*, v. 74, n. 1, p. 110-119, doi: 10.1590/1678-4499.0334.
- Pezzopane, J. R. M.; Bernardi, A. C. C.; Azenha, M. V.; Oliveira, P. P. A.; Bosi, C.; Pedroso, A. F.; Esteves, S. N. 2020. Production and nutritive value of pastures in integrated livestock production systems: shading and management effects. *Scientia Agricola*. v.77, n.2, doi: 10.1590/1678-992X-2018-0150.
- Reis, G. L.; Lana, Â. M. Q.; Neto, J. V. E.; Lemos Filho, J. P.; Borges, I.; Longo, R. M. 2013. Produção e composição bromatológica do capim-marandu sob diferentes percentuais de sombreamento e doses de nitrogênio. *Bioscience Journal*, v. 29, n. 5, p. 1606-1615, doi: 10.1590/S0100-204X2011001000009.
- Rodrigues, B. M.; Braz, T. G. S.; Frazão, L. A.; Almeida, B. Q.; Alves, M. A.; Silva, A. C. C. V.; Oliveira, M. E. M.; Vieira, T. R. 2018. Consorciação de estilosantes Campo Grande e capim-marandu em sistemas silvipastoril e sol pleno durante a fase de estabelecimento. *Boletim De Indústria Animal*, v. 75, p.1-11, doi: 10.17523/bia.2018.v75.e1421.
- Rodrigues, C. O. D.; Araújo, S. A. C.; Viana, M. C. M.; Rocha, N. S.; Braz, T. G. S.; Villela, S. D. J. 2014. Light relations and performance of signal grass in silvopastoral system. *Acta Scientiarum, Animal Science*, v. 36, n. 2, p. 129-136, doi: 10.4025/actascianimsci.v36i2.22398.
- Salton, J. C.; Mercante, F. M.; Tomazi, M.; Zanatta, J. A.; Concenção, G.; Silva, W. M.; Retore, M. 2014. Integrated crop-livestock system in tropical Brazil: Toward a sustainable production system. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 190, p. 70-79, doi: 10.1016/j.agee.2013.09.023.
- Santos, D. C.; Júnior, R. G.; Vilela, L.; Maciel, G. A.; França, A. F. S. 2018. Implementation of silvopastoral systems in Brazil with *Eucalyptus urograndis* and *Brachiaria brizantha*: Productivity of forage and an exploratory test of the animal response. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 266, p. 174-180, doi: 10.1016/j.agee.2018.07.017.

- Santos, D. C.; Júnior, R. G.; Vilela, L.; Pulrolnik, K.; Bufon, V. B.; França, A. F. S. 2016. Forage dry mass accumulation and structural characteristics of Piatã grass in silvopastoral systems in the Brazilian savannah. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 233, p. 16-24, doi: 10.1016/j.agee.2016.08.026.
- Soares, A. B.; Sartor, L. R.; Adami, P. F.; Varella, A. C.; Fonseca, L.; Mezzalira, J. C. 2009. Influência da luminosidade no comportamento de onze espécies forrageiras perenes de verão. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 38, n. 3, p. 443-451, doi: 10.1590/S1516-35982009000300007.
- Sousa, L. F.; Maurício, R. M.; Gonçalves, L. C.; Saliba, E. O. S.; Moreira, G. R. 2007. Productivity and nutritional value of *Brachiaria brizantha* cv. Marandu in a silvopastoral system. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v. 59, n. 4, p. 1029-1037, doi: 10.1590/S0102-09352007000400032.
- Sousa, L. F.; Maurício, R. M.; Moreira, G. R.; Gonçalves, L. C.; Borges, I.; Pereira, L. G. R. 2010. Nutritional evaluation of “Braquiaraão” grass in association with “Aroeira” trees in a silvopastoral system. *Agroforestry Systems*, v. 79, n. 2, p. 189-199, doi: 10.1007/s10457-010-9297-8.
- Souza, W. D.; Barbosa, O. R.; Marques, J. D. A.; Costa, M. A. T.; Gasparino, E.; Limberger, E. 2010. Microclimate in silvopastoral systems with eucalyptus in rank with different heights. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 39, n. 3, p. 685-694, doi: 10.1590/S1516-35982010000300030.
- Veras, V. S.; Oliveira, M. E.; Lacerda, M. S. B.; Carvalho, T. B.; Alves, A. A. 2010. Produção de biomassa e estrutura do pasto de capim-andropogon em sistema silvipastoril e monocultura. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*. v. 62, n. 1, p. 200-207, doi: S0102-09352010000100027.
- Vilela, L.; Martha Junior, G. B.; Macedo, M. C. M.; Marchão, R. L.; Guimaraes Junior, R.; Pulrolnik, K.; Maciel, G. A. 2011. Sistemas de integração lavoura-pecuária na região do Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 46, n. 10, p. 1127-1138, doi: 10.1590/S0100-204X2011001000003.

CAPÍTULO 3

VALOR NUTRITIVO DAS PASTAGENS EM SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO PECUÁRIA-FLORESTA

*Alan Figueiredo de Oliveira; Ângela Maria Quintão Lana; Lúcio Carlos Gonçalves;
Matheus Anchieta Ramirez; Pamella Grossi de Sousa; Frederico Patrus Ananias de
Assis Pires; Rafael Araújo de Menezes; Guilherme Lobato Menezes*

RESUMO

As pastagens cultivadas em sol pleno e sob sombreamento apresentam diferentes formas de direcionamento dos compostos bioquímicos, o que gera alterações na morfofisiologia dos tecidos vegetais e pode modificar o valor nutritivo das forragens. Em condições sombreadas na IPF, as plantas podem conter menor teor de matéria seca (MS) devido a maiores umidades no ambiente e no solo. Os teores de proteína bruta (PB) nas plantas aumentam em locais sombreados em decorrência da maior ciclagem de nutrientes no solo, do atraso no desenvolvimento celular e da concentração de nitrogênio nos tecidos vegetais. Os teores de fibras e a digestibilidade não apresentam um padrão de alteração bem definido. O melhor valor nutricional nas plantas em sistemas de IPF, sobretudo o maior teor de PB, vem sendo considerado uma das grandes vantagens desses sistemas. Entretanto, atenção especial deve ser dada à produção de componentes nutricionais por área. Em sistemas de IPF mais adensados, por mais que a pastagem tenha melhor valor nutricional, a produtividade de componentes nutricionais e a capacidade de suporte desses pastos são menores. Tais alterações podem comprometer a sustentabilidade econômica desses sistemas.

INTRODUÇÃO

A avaliação do valor nutritivo é fundamental para o estabelecimento de um adequado programa nutricional nos sistemas de produção que utilizam pastagens. Além do melhor conforto animal e do aumento do estoque de carbono no sistema, a melhoria do valor nutritivo das pastagens vem sendo considerada como uma das grandes vantagens dos sistemas de IPF. Dessa forma, é necessário conhecer como os valores nutritivos das forrageiras se comportam em sistemas sombreados, a fim de maximizar o desempenho animal nessas áreas.

A qualidade nutritiva das forrageiras pode ser influenciada pela maior ciclagem de nutrientes no solo, pela alteração do microclima local e pelas alterações na morfofisiologia das plantas. Os teores de MS geralmente não apresentam alterações consistentes, entretanto, em alguns casos, podem ser reduzidos em sistemas de IPF devido aos maiores teores de umidade no solo e no ambiente. A PB é o principal componente nutricional da forragem que sofre alterações em condições sombreadas. Em sistemas de IPF, ocorrem aumentos nos teores de PB, sobretudo em razão da maior ciclagem de nutrientes no solo, do padrão de desenvolvimento das plantas e da maior concentração de nitrogênio na planta devido à menor produção de tecidos (Pezzopane *et al.*, 2020).

Os teores de fibras e a digestibilidade das forragens não apresentam um padrão de variação definido. Em algumas situações, o estiolamento da planta em sombreamento pode aumentar as frações fibrosas e reduzir a digestibilidade. Já em outras, os aumentos de PB e alterações na parede celular podem reduzir os teores de fibras e aumentar a digestibilidade.

A maioria dos trabalhos científicos ressaltam a melhoria do valor nutricional das pastagens em IPF como ponto positivo desses sistemas. Entretanto, a redução da produtividade das pastagens em locais sombreados pode diminuir a produção de componentes nutricionais. Portanto, quando se avalia a produção de matéria seca digestível e de proteína bruta por área em sistemas de IPF adensados, observa-se grande redução nesses indicadores. A consideração dos aspectos produtivos das pastagens é fundamental no planejamento desses sistemas, pois a menor produtividade do pasto também implica menor capacidade de suporte e produção animal nessas áreas (Lima *et al.*, 2019). Assim, objetivou-se, com esta revisão, avaliar a literatura acerca do valor nutritivo e da produtividade de nutrientes de forrageiras em diferentes sistemas de integração pecuária-floresta.

TEORES DE MATÉRIA SECA DAS FORRAGEIRAS EM INTEGRAÇÃO PECUÁRIA-FLORESTA

O conhecimento do teor de MS das forrageiras se mostra essencial para determinar a produção de matéria seca nas forrageiras e sua capacidade nutritiva. Coelho *et al.* (2014) encontraram teor de MS na *Urochloa decumbens* de 29,2% no pleno sol, 27,5% na IPF com linhas duplas e 9 m entre renques de eucalipto e 26,3% na IPF com linhas simples e 9 m entre renques, sem diferença ($p > 0,05$) entre os tratamentos. Resultados semelhantes foram observados por Rodrigues *et al.* (2014), com teor de MS na *U. decumbens* de 27,5%

no pleno sol, 26,8% na IPF com 20 m entre renques, 26,7% na IPF com linhas duplas e 9 m entre renques e 26,6% na IPF com linha simples e 9 m entre renques. Nesses trabalhos, houve uma tendência de redução do teor de MS nas forragens sob sombra. Em sistemas de IPF, as maiores umidades no solo e no ambiente podem resultar em menores teores de MS nas plantas. Entretanto, em sistemas adensados, a competição por água entre a pastagem e as árvores pode reduzir esse efeito.

Tosta *et al.* (2015) não encontraram diferença do teor de MS na *U. brizantha* cv. Marandu em IPF com três densidades de árvores de babaçu. Os teores de MS das plantas foram maiores ($p < 0,05$) no local mais próximo ao tronco das árvores (57,4%) em comparação com as áreas mais distantes (34,5%). Segundo os autores, as plantas secaram muito próximo das árvores devido à maior competição por água e nutrientes.

Lacerda *et al.* (2009) avaliaram o capim-andropógon (*Andropogon gayanus*) com 35, 49 e 63 dias de rebrota em pleno sol ou em IPF com as espécies arbóreas pau-d'arco (*Tabebuia serratifolia*) e jatobá (*Hymenaea courbaril*) no período chuvoso, em Teresina-PI. Os teores de MS não variaram ($p > 0,05$) entre os sistemas, com valores de 24,8% na IPF com pau-d'arco, de 26,7% na IPF com jatobá e de 24,5% no pleno sol. Valores superiores foram encontrados por Mishra *et al.* (2010), que observaram teor de MS no capim-buffel (*Cenchrus ciliaris*) em pleno sol de 34,1% e na IPF com *Acacia tortilis* de 29,1%, diferença que representou uma redução de 17,18%.

Pereira *et al.* (2015) encontraram menores teores de MS na *U. decumbens* em diferentes sistemas de IPF em relação ao pleno sol. Segundo os autores, em ambientes sombreados há menor evapotranspiração e maior disponibilidade e acúmulo de água nas plantas. Embora a forragem com menor teor de MS contenha menor concentração de nutrientes, geralmente ela apresenta melhor valor nutricional e é preferida pelos animais. Esse fato pode melhorar o desempenho animal individual nessas áreas, desde que se ajuste a oferta de forragem.

Sousa *et al.* (2010) verificaram maiores ($p < 0,05$) teores de MS na *U. brizantha* cv. Marandu no pleno sol (29,4%) em comparação à IPF com 140 árvores/ha de aroeira (*Myracrodruon urundeuva*) (25,8%). De acordo com os autores, essa diferença está associada ao maior número de folhas verdes, fato que poderia gerar melhor dinâmica de pastejo e melhor desempenho animal nessas áreas. Valores semelhantes foram encontrados por Moreira *et al.* (2009), em cujo trabalho a *U. brizantha* cv. Marandu na IPF com ipê-felpudo (*Zeyheria tuberculosa*) teve menor ($p < 0,05$) teor de MS (22,1%) em comparação ao pleno sol (26,6%). Segundo os autores, o menor teor de MS na IPF ocorre

devido à menor evapotranspiração existente no ambiente, fato que resulta em maior umidade nas plantas em ambientes sombreados.

TEORES DE PROTEÍNA BRUTA EM FORRAGEIRAS EM INTEGRAÇÃO PECUÁRIA-FLORESTA

Proteína bruta na *Urochloa decumbens*

A PB é um dos principais indicadores de qualidade nutricional das forragens para ruminantes. Em pastagens com baixos teores de PB, a suplementação proteica pode aumentar os custos de produção dos sistemas. Assim, forrageiras com maiores teores de PB são desejáveis como opção para se reduzirem custos. Paciullo *et al.* (2011) avaliaram a composição química da *U. decumbens* em IPF e encontraram menor ($p<0,05$) teor de PB a 13,5 m de distância do renque de eucalipto (6,5%) e maior ($p<0,05$) teor sob a copa das árvores (9,8%), um aumento de 51,0%. Reduções nos teores de PB com o sombreamento também foram encontrados por Coelho *et al.* (2014) na *U. decumbens* em pleno sol com 9,6%, na IPF com linhas duplas e 9 m entre renques de eucalipto com 11,2% e na IPF com linhas simples espaçadas de 9 m com 10,9%. Lopes *et al.* (2017) observaram maiores teores de PB na *U. decumbens* com 70% de sombra (14,7%) em comparação a 20% de sombra (11,0%) e ao pleno sol (9,7%).

Rodrigues *et al.* (2014) encontraram teores de PB de 11,5% na *U. decumbens* em pleno sol, de 10,8% na IPF com linhas duplas espaçadas de dois metros entre renques, três metros entre plantas e 20 m entre renques, de 14,5% em IPF com linhas duplas espaçadas de dois metros entre renques, dois metros entre plantas e 9 m entre renques e de 12,7% em IPF com linha simples e 9 m entre renques. O teor de PB foi maior ($p<0,05$) nos sistemas com 9 m em relação ao sistema com 20 m entre renques. A produção de PB foi maior no pleno sol (381,8 kg/ha) em relação ao sistema com 20 m (137,4 kg/ha), ao sistema com 9 m e linha simples (99,7 kg/ha) e ao sistema com 9 m e linhas duplas (67,1 kg/ha), reduções de 64,0, 73,9 e 82,4%, respectivamente. Dados semelhantes foram encontrados por Lima *et al.* (2018), com maior teor de PB na *U. decumbens* em IPF em relação ao pleno sol, porém com maior produção de PB por área em pleno sol.

A inserção de leguminosas em pastagens tem o objetivo de aumentar a fixação biológica de nitrogênio e o teor de PB. Paciullo *et al.* (2014) avaliaram a *U. decumbens* consorciada com *Stylosanthes guianensis* em pleno sol e em IPF com 30 m entre renques e consorciada com *Stylosanthes guianensis*, *Pueraria phaseoloides* e *Calopogonium*

mucunoides e encontraram maior ($p>0,05$) teor de PB na pastagem em IPF (Tabela 1). Entretanto, devido à baixa persistência das leguminosas nas pastagens e à possível presença de taninos que podem reduzir a digestibilidade da proteína, não houve melhoria no desempenho animal na IPF.

Tabela 1. Teores de PB em pastagens de *U. decumbens* consorciada com leguminosas em pleno sol e em IPF

Componente do pasto	Pleno sol	IPF
<i>U. decumbens</i>	9,1b	10,8a
<i>Stylosanthes guianensis</i>	17,8a	18,3a
<i>Pueraria phaseoloides</i>	-	20,2
<i>Calopogonium mucunoides</i>	-	20,6

Médias seguidas de letras distintas na linha diferem entre si ($p<0,05$). Fonte: Adaptado de Paciullo *et al.* (2014).

Araujo *et al.* (2013) avaliaram a *U. decumbens* no pleno sol e em três espaçamentos de eucalipto em IPF (três metros entre renques e dois metros entre plantas, seis metros entre renques e quatro metros entre plantas, e 10 m entre renques e quatro metros entre plantas) até os 24 meses após implantação. Não houve grande variação na produtividade de forragem, PB, FDN e matéria mineral (MM) entre os sistemas. Esses resultados sugerem que uma das alternativas para melhorar a rentabilidade do sistema é o plantio adensado e posterior desbaste de linhas e venda da madeira. Dessa forma, não há grande interferência das árvores na pastagem nos dois primeiros anos e, após esse período, a redução da densidade arbórea permite a venda de madeira fina e a manutenção da produtividade do pasto.

Paciullo *et al.* (2009) encontraram teores semelhantes ($p>0,05$) de PB na *U. decumbens* em pleno sol e em um sistema de IPF formado pela *U. decumbens* cv. Basilisk, pela leguminosa *Stylosanthes guianensis* cv. Mineirão e quatro espécies de árvores em quatro linhas com espaçamento de três metros entre linhas, três metros entre plantas e 30 m entre renques. A semelhança no teor de PB se deve ao maior distanciamento entre os renques, fato que dilui o aumento na concentração de nitrogênio nas plantas sob sombra. A inclusão de leguminosas em pastagens objetiva aumentar o teor de PB do pasto, principalmente no inverno. Nesse trabalho a inclusão da leguminosa não surtiu efeito porque a leguminosa foi pouco persistente.

Proteína bruta na *Urochloa brizantha*

Sousa *et al.* (2010) observaram maior ($p<0,05$) teor de PB na *U. brizantha* cv. Marandu em integração com Aroeira com 7,1%, em comparação ao pleno sol, com 5,8%,

uma redução de 22,4%. Comportamento semelhante foi encontrado por Moreira *et al.* (2009), em cujo trabalho o teor de PB na *U. brizantha* cv. Marandu em IPF com ipê-felpudo (9,7%) foi superior ($p < 0,05$) ao teor no pleno sol (6,9%). Santos *et al.* (2018) encontraram menores ($p < 0,05$) teores de PB (8,3%) no pleno sol em relação à IPF com *U. brizantha* cv. Piatã e renques de eucalipto em espaçamento de 22 m (SSP22) (10,7%) e na IPF com 12 m (SSP12) entre renques (11,7%), aumentos de 28,9 e 41,0%. A produção de proteína bruta foi de 1.137 kg/ha/ano no pleno sol, de 804 kg/ha/ano no SSP22 e de 582 kg/ha/ano no SSP12. Essa redução da produção de proteína bruta demonstra que, mesmo com maiores teores nos sistemas sombreados, a capacidade produtiva do pasto é maior no pleno sol devido à maior produtividade de nutrientes por área.

Em Campo Grande-MS, Barros *et al.* (2018) avaliaram a composição química da folha e do colmo da *U. brizantha* cv. Piatã em IPF, com 14 e 22 m entre renques e em pleno sol, em quatro épocas do ano. Os teores de PB nas folhas foram maiores ($p < 0,05$) no sistema com 14 m entre renques (13,9%) em comparação ao sistema com 22 m entre renques (11,7%) e ao pleno sol (9,2%). Os teores de PB foram maiores no verão em comparação ao inverno devido a melhores condições climáticas de precipitação, de luminosidade e de temperatura. Os teores de PB foram consistentemente menores no colmo em comparação com os teores nas folhas. Os teores médios de PB nos colmos foram de 5,9% no pleno sol, de 6,7% na IPF com 22 m e de 8,5% na IPF com 14 m. Resultados semelhantes foram encontrados por Araújo *et al.* (2016). Segundo os autores, o conhecimento das variações dos teores de PB entre folha e colmo é importante para o estabelecimento de um manejo estratégico das pastagens, com o objetivo de maximizar a oferta de forragem de alta qualidade.

Geremia *et al.* (2018) verificaram maiores ($p < 0,05$) teores de PB na *U. brizantha* cv. Piatã em IPF com alta densidade de árvores (11,2%) em relação à IPF com média densidade (9,4%) e ao pleno sol (8,4%). Entretanto, a produção de PB por área foi consideravelmente maior no pleno sol (Tabela 2).

Tabela 2. Teores e produção de PB na *U. brizantha* cv. Piatã em pleno sol, em IPF com média e alta densidade de árvores

Tratamento	PB (%)	Produção de PB (kg/ha)
Pleno sol	8,4b	453,6
Média densidade	9,4b	417,6
Alta densidade	11,2a	340,6

Médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Fonte: Adaptado de Geremia *et al.* (2018).

Tosta *et al.* (2015) avaliaram a *U. brizantha* cv. Marandu sob três densidades de árvores de babaçu e três distanciamentos das árvores. Os teores médios de PB não variaram entre os três espaçamentos utilizados. Esse comportamento é diferente da maioria dos dados da literatura, entretanto provavelmente ocorreu devido à baixa densidade de árvores nos três sistemas. Assim, a influência do sombreamento não foi suficiente para alterar a concentração de PB dentro dos sistemas. No entanto, os teores de PB foram maiores ($p < 0,05$) nas áreas mais distantes das árvores (5,8%) em comparação a debaixo das árvores (4,2%). De acordo com os autores, a competição por umidade e nutrientes entre árvores e gramíneas próximo às árvores, principalmente no inverno, pode reduzir o valor nutricional da forrageira.

Proteína bruta no *Megathyrus maximum*

Paciullo *et al.* (2016) encontraram maiores teores de PB no *M. maximum* cv. Massai e cv. Tanzânia submetidos a 58% de sombra em comparação ao pleno sol. Além disso, o aumento da dose de nitrogênio de 50 para 150 kg/ha também elevou o teor de PB da planta (Tabela 3). Os teores de nitrogênio insolúvel em detergente neutro (NIDN) foram maiores no *M. maximum* cv. Massai com 58% de sombra. Dessa forma, os maiores teores de PB em plantas sombreadas podem não resultar em maiores teores de PB utilizadas pelo animal.

Tabela 3. Teores de PB, nitrogênio insolúvel em detergente neutro (NIDN) e nitrogênio insolúvel em detergente ácido (NIDA) no *M. maximum* cv. Massai (MA) e no *M. maximum* cv. Tanzânia (TA) submetidos a diferentes doses de nitrogênio e sombreamento

Sombra (%)	PB					NIDN			NIDA	
	Dose de nitrogênio			Cultivar		Dose de nitrogênio			Cultivar	
	50	100	150	MA	TA	50	100	150	MA	TA
0	8,4Bb	10,4Ca	11,5Ca	9,6Ba	10,5Ba	56,9Aa	53,6Aa	53,5Aa	9,6Ba	5,9Ab
37	11,2Ab	12,0Bb	14,2Ba	10,9Bb	14,1Aa	47,2Bb	52,9Aa	51,7Aa	9,5Ba	5,1ABb
58	11,7Ac	14,3Ab	17,1Aa	12,9Ab	15,9Aa	49,1Ba	47,9Ba	47,0Ba	12,3Aa	4,5Bb

Médias seguidas de letras distintas, minúsculas na linha e maiúscula na coluna, diferem entre si ($P < 0,05$). Fonte: Adaptado de Paciullo *et al.* (2016).

Soares *et al.* (2009) avaliaram cinco espécies forrageiras em integração com *Pinus taeda* e encontraram maiores ($p < 0,05$) teores de PB na IPF com 9 e 15 m entre renques (17,6 e 17,8%) em comparação com o pleno sol (15,3%). No pleno sol, não houve diferença ($p > 0,05$) entre as forrageiras, entretanto o *Cynodon dactylon* híbrido Tifton-85 e o *M. maximum* cv. Aruana apresentaram os maiores teores ($p < 0,05$) de PB na IPF com 15 m (20,0%) e na IPF com 9 m entre renques (19,0 e 20,0%). O menor ($p < 0,05$) teor de PB foi observado na *Hemarthria altissima* cv. Florida, com 15,0% na IPF com 9 m e 14,0% na IPF com 15 m entre renques.

Proteína bruta em outras forrageiras

Abraham *et al.* (2014) avaliaram o dátilo (*Dactylis glomerata*) em pleno sol e em dois níveis de sombreamento, e o teor de PB foi maior ($p < 0,05$) com 90% de sombra (PB de 23,4%) em comparação a 60% de sombra (PB de 20,8%) e ao pleno sol (PB de 21,3%). Entretanto, a produtividade de PB foi fortemente afetada pelo sombreamento.

Kirchner *et al.* (2010) avaliaram cinco forrageiras temperadas em pleno sol e em dois sistemas de IPF com *Pinus taeda* com 15 e 9 m entre renques. Na aveia-preta, na aveia-branca e no azevém, os teores de PB foram maiores ($p < 0,05$) nos sistemas sombreados em comparação ao pleno sol (Tabela 4).

Tabela 4. Teores e produção de PB em cinco forrageiras temperadas em pleno sol e em integração pecuária-floresta com *Pinus taeda* com 15 e 9 m entre renques

Espécie	PB %				Produção de PB (kg/ha)			
	Pleno sol	15x3	9x3	Média	Pleno sol	15x3	9x3	Média
Aveia-preta	19,9bB	20,9abB	22,4aA	21,1	905,5	410,3	82,7	484,0
Aveia-branca	18,4bC	19,9aBC	20,3aB	19,5	1438,0	558,8	197,7	753,7
Azevém	16,7bD	17,9abD	18,8aB	17,8	1367,9	622,6	341,0	799,9
Trigo duplo-propósito	22,0aA	18,8bCD	19,4bB	20,0	1132,3	449,9	252,2	589,4
Ervilhaca	22,3aA	23,5aA	22,8aA	22,8	1063,9	540,5	294,6	635,7
Média	19,8	20,2	20,7	-	1206,8	524,2	238,1	-

Médias seguidas de letras distintas, minúsculas nas linhas e maiúsculas na coluna, diferem ($P < 0,05$) pelo teste de Tukey. Fonte: Adaptado de Kirchner *et al.* (2010).

Segundo os autores, os aumentos nos teores de PB nos ambientes sombreados estão ligados à redução da fotossíntese, que causa maior eficiência de conversão da energia solar em energia química, à elevação do teor de clorofila, ao aumento do teor de N no solo e ao incremento da área foliar. Entretanto, mesmo que os teores de PB sejam maiores nas plantas, as produções de PB foram menores nos sistemas sombreados devido à redução da produtividade por área.

Lacerda *et al.* (2009) avaliaram a composição química do capim-andropógon em pleno sol ou em IPF com as espécies arbóreas pau-d'arco (*Tabebuia serratifolia*) e jatobá (*Hymenaea courbaril*) e encontraram teores de PB superiores nos ambientes sombreados (9,6%) em relação ao pleno sol (9,2%). De acordo com os autores, esses resultados podem ser associados às características do solo, que apresentavam maiores teores de cálcio, de potássio e de soma de bases nos dois ambientes sombreados. A produção média de PB foi maior ($p < 0,05$) aos 63 dias de crescimento nos sistemas sombreados (1.143 kg/ha) em comparação ao pleno sol (790 kg/ha), uma redução de 30,9%. Em locais com baixos índices pluviométricos, a maior mineralização da matéria orgânica e a maior umidade no solo em sistemas sombreados podem aumentar a PB na planta e a produção do pasto, gerando maior produção animal na área. Nesse mesmo trabalho, os teores de NIDN foram de 53,4% na IPF com pau-d'arco, de 50,6% na IPF com jatobá e de 52,7% no pleno sol, sem diferença ($p > 0,05$) entre os tratamentos. Os teores de NIDN são importantes, pois o nitrogênio encontra-se complexado com frações fibrosas e indisponível para o animal.

O maior teor de PB nas forragens sob sombra pode ser explicado pela teoria da diluição de nitrogênio. Conforme essa teoria, as forrageiras em um nível similar de produção extraem uma porcentagem parecida de nitrogênio do solo. Assim, com a maior produção de biomassa das plantas no pleno sol, há uma diluição no nitrogênio absorvido e translocado para as partes aéreas em comparação com as plantas cultivadas em áreas sombreadas. As plantas sob sombra não metabolizam e convertem todo o nitrogênio absorvido em acúmulo de MS e, dessa forma, o nitrogênio fica concentrado e aumenta o teor de PB da planta.

Os acréscimos nos teores de PB nas plantas em sombreamento natural também podem estar ligados ao aumento da degradação da matéria orgânica e da reciclagem de nitrogênio no solo, principalmente se os componentes arbóreo e forrageiro forem constituídos por leguminosas fixadoras de nitrogênio atmosférico (Wilson, 1996). Além disso, o atraso no desenvolvimento ontogênico das plantas cultivadas à sombra mantém as plantas mais jovens fisiologicamente, o que possibilita alta taxa metabólica da célula e menor acúmulo de fibra. Outro fator associado ao aumento do teor de PB em plantas sob sombra é a redução do tamanho da célula vegetal causada pelo sombreamento (Paciullo *et al.*, 2011).

TEORES DE FIBRAS EM FORRAGEIRAS EM INTEGRAÇÃO PECUÁRIA- FLORESTA

Teores de fibras na *Urochloa decumbens*

Paciullo *et al.* (2009) não observaram diferenças nos teores de FDN, FDA e lignina em pastagem de *U. decumbens* em pleno sol ou consorciada com estilosantes em um sistema de IPF com 30 m entre renques. Entretanto, esses teores foram maiores no inverno em comparação ao verão. Resultados semelhantes foram encontrados por Paciullo *et al.* (2014), que não constataram diferença nos teores de FDN na *U. decumbens* consorciada com estilosantes em pleno sol e em IPF, e por Paciullo *et al.* (2011), na *U. decumbens* em IPF em até 15 m de distância do renque de eucalipto.

Rodrigues *et al.* (2014) encontraram maior ($p < 0,05$) teor de FDN no pleno sol (64,7%) e na IPF com 20 m entre renques (62,9%) em relação à IPF com linhas duplas e 9 m entre renques (60,3%) e na IPF com linhas simples e 9 m entre renques (60,4%). A produção de FDN foi maior no pleno sol (2.150,8 kg/ha) em relação à IPF com 20 m (833,7 kg/ha), a IPF com linhas duplas e 9 m entre renques (474,6 kg/ha) e a IPF com linha simples e 9 m entre renques (281,2 kg/ha), o que representou reduções de 61,2, 77,9 e 86,9%, respectivamente. Os teores de FDA não variaram entre os tratamentos com valor médio de 30,8%. Segundo os autores, os maiores teores de fibra no pleno sol e na IPF com maior espaçamento devem-se à maior altura e ao maior acúmulo de componentes da parede celular vegetal. Além disso, plantas em sombreamento apresentam menos tecido de esclerênquima e células do mesófilo, fato que gera parede celular mais fina em condições de sombreamento.

Lopes *et al.* (2017) verificaram menores teores de FDN e FDA na *U. decumbens* com 70% de sombreamento (64,1 e 31,8%) em comparação ao pleno sol (66,6 e 33,0%) e teores semelhantes de lignina entre os tratamentos, com valores médios de 6,1%. De acordo com os autores, as reduções nos teores de fibras podem estar relacionadas com a menor disponibilidade de fotoassimilados para o desenvolvimento da parede celular secundária. Resultados semelhantes foram encontrados por Lima *et al.* (2018), com menor teor de FDN na *U. decumbens* em IPF (65,8%) em comparação ao pleno sol (67,7%).

Teores de fibra na *Urochloa brizantha*

Santos *et al.* (2018) encontraram teores similares ($p>0,05$) de FDN, FDA, celulose, hemiceluloses e lignina na *U. brizantha* cv. Piatã em pleno sol e em IPF com 12 e com 22 m entre renques. Entretanto, essas frações foram maiores ($p<0,05$) no período chuvoso, com valores de 66,8, 32,7, 29,5, 34,1 e 2,8%, respectivamente. Segundo os autores, os maiores teores de fibras no verão podem estar associados ao maior acúmulo de forragem causado pelas condições climáticas, que favorecem o alongamento das folhas e o aumento do conteúdo dos componentes estruturais para manter a arquitetura foliar. Geremia *et al.* (2018) também não encontraram diferença nos teores de FDN e de FDA na *U. brizantha* cv. Piatã em pleno sol e em IPF com média e alta densidade de árvores.

Barros *et al.* (2018) avaliaram a FDN nas folhas e nos colmos da *U. brizantha* cv. Piatã em pleno sol, em IPF com 14 m entre renques e em IPF com 22 m entre renques. Os teores de FDN foram maiores nos colmos em comparação com os das folhas. Os teores de FDN nas folhas foram menores ($p<0,05$) nos sistemas mais adensados, com valores de 72,3% no pleno sol, 70,8% na IPF com 22 m e 68,2% na IPF com 14 m. De acordo com os autores, os menores teores de fibras na forragem em ambientes sombreados devem-se ao menor tamanho das células e à menor espessura da parede celular, que resulta em menor acúmulo de fibras. Os colmos não apresentaram grandes variações nos teores de FDN entre os tratamentos.

Moreira *et al.* (2009) não encontraram diferença ($p>0,05$) nos teores de FDN na *U. brizantha* cv. Marandu em IPF com ipê-felpudo e em IPF com aroeira em relação ao pleno sol. No entanto, os teores de FDA e de lignina foram maiores da IPF com ipê-felpudo em relação ao pleno sol. Conforme os autores, o maior teor de lignina em sistemas sombreados ocorre devido à maior altura da planta e à maior necessidade de tecidos de sustentação com alta participação de lignina. Ainda nesse trabalho, os autores avaliaram a composição da lignina da forragem (Tabela 5).

Tabela 5. Monômeros fenólicos da lignina (g/kg) p-hidroxibenzaldeído (H), vanilina (V) e seringila (S) e relação V:S na *U. brizantha* cv. Marandu em IPF com ipê-felpudo (*Zeyheria tuberculosa*), em IPF com aroeira (*Myracrodruon urundeuva*) e em pleno sol

	P-hidroxibenzaldeído (g/kg)	Vanilina (g/kg)	Seringila (g/kg)	V/S
IPF com ipê-felpudo	83,8	44,1	34,8	1,3
Pleno sol	50,8	56,7	15,5	3,7
IPF com aroeira	48,4	45,2	74,1	0,6
Pleno sol	65,0	36,9	5,9	6,2

Fonte: Adaptado de Moreira *et al.* (2009).

Foi observado maior teor de seringila e menor relação vanilina/seringila nos sistemas integrados em comparação ao pleno sol. Esse resultado é importante, pois o seringila não tem a capacidade de se ligar aos componentes da parede celular como a vanilina. Em forragens com alta concentração de vanilina, os componentes da parede celular, principalmente celulose e hemicelulose, estão complexados e indisponíveis para o animal, fato que pode influenciar negativamente a digestibilidade da forragem.

Teores de fibra em *Megathyrus maximum*

Paciullo *et al.* (2016) avaliaram o *M. Maximum* cv. Massai e cv. Tanzânia em diferentes intensidades de sombreamento e doses de nitrogênio e encontraram menores ($p < 0,05$) teores de FDN com os aumentos de sombreamento e de doses de nitrogênio (Tabela 6). Segundo os autores, os menores teores de FDN podem estar ligados ao fato das células da parede esclerênquimal serem mais finas em plantas sob sombra.

Tabela 6. Teores de FDN e FDA no *M. Maximum* cv. Massai e cv. Tanzânia com diferentes intensidades de sombreamento e doses de nitrogênio

	Sombreamento (%)			Cultivar		Dose de nitrogênio (kg/ha)		
	0	37	58	Massai	Tanzânia	50	100	150
FDN	65,2a	64,2b	64,2b	65,8a	63,3b	65,6a	64,3b	63,7c
FDA	31,5	33,1	33,0	34,7	30,3	32,3	33,3	31,9

Médias seguidas de letras minúsculas distintas dentro de um mesmo fator de variação diferem entre si ($P < 0,05$). Fonte: Adaptado de Paciullo *et al.* (2016).

Teores de fibra em outras forrageiras

Abraham *et al.* (2014) encontraram teores de FDN similares no dátilo (*Dactylis glomerata*) submetido a 60% de sombra (55,4%) e em pleno sol (54,4%). Os teores de FDN foram menores ($p < 0,05$) nas plantas submetidas a 90% de sombra (51,9%). Os teores de lignina não diferiram entre os tratamentos, com valor médio de 0,028%.

Kirchner *et al.* (2010) avaliaram cinco forrageiras em pleno sol e em IPF com *Pinus taeda*, e os teores de FDN foram semelhantes na aveia-branca, no azevém e na ervilhaca e menores ($p < 0,05$) na aveia-preta e no trigo em pleno sol comparados aos sistemas de IPF. As produtividades médias de FDN foram 56,0% menores na IPF com 15 m entre renques e 80,0% menores com 9 m entre renques em comparação ao pleno sol.

De acordo com os autores, a falta de um padrão de variação está ligada a algumas alterações na planta, que podem aumentar, reduzir ou manter os teores de fibras em determinadas condições. Por exemplo, em sombreamento, a porcentagem de carboidratos

não fibrosos, como o amido e os açúcares solúveis, pode reduzir. Além disso, o aparato fotossintético se adapta à restrição luminosa com a presença de mais água nos tecidos, o maior volume de tecido citoplasmático em comparação ao tecido da parede celular, a maior proporção de clorofila b, a menor quantidade de cloroplastos e o maior número de estômatos com formatos maiores.

Soares *et al.* (2009) não observaram ($p>0,05$) diferença nos teores de FDN nas espécies *Axonopus catharinensis*, *H. altissima* cv. Florida e *M. maximum* cv. Aruana cultivada em pleno sol e em IPF com nove metros e com 15 m de espaçamento entre renques. Na *U. brizantha* cv. Marandu, o teor de FDN foi menor ($p<0,05$) na IPF com 9 m, e no *C. dactylon* híbrido Tifton-85 o teor de FDN foi menor ($p<0,05$) na IPF com 15 m.

Em experimento realizado no nordeste brasileiro, Lacerda *et al.* (2009) encontraram produções de FDN aos 63 dias de crescimento no capim-andropógon de 9.269 kg/ha na IPF com pau-d'arco, de 8.098 kg/ha na IPF com jatobá e de 6.405 kg/ha no pleno sol. Os teores médios de FDN aos 63 dias foram 76,9% na IPF com pau-d'arco, 76,4% na IPF com jatobá e 78,5% no pleno sol. A maior produção de forragem nos sistemas integrados em localidades que apresentam baixos índices pluviométricos possibilita maior produção de FDN e, conseqüentemente, maior capacidade de suporte do pasto. Além disso, os teores de FDN foram menores aos 35 dias de crescimento em comparação aos 63 dias, fato que evidencia a necessidade do estabelecimento de um programa de manejo da forragem com pastejos nas plantas mais jovens. Nesse mesmo trabalho, os teores de FDA não variaram entre os tratamentos com 41,5% na IPF com pau-d'arco, 38,4% na IPF com jatobá e 40,9% no pleno sol.

As plantas em sombreamento tendem a estiolar com o avanço da maturidade como estratégia para aumentar a altura e buscar luminosidade, o que pode resultar em alongamento do colmo e aumento nos teores de fibra da forrageira (Paciullo *et al.*, 2009; Paciullo *et al.*, 2011; Santos *et al.*, 2016). Entretanto, outros fatores, como o aumento do teor de PB, a alteração no desenvolvimento ontogenético e a redução da espessura da parede celular, podem reduzir os teores de fibras das forragens que, geralmente, não apresentam alterações consistentes desses componentes (Gobbi *et al.*, 2009; Soares *et al.*, 2009; Sousa *et al.*, 2010). Gómez *et al.* (2012) citam que as folhas das forragens sob baixa incidência de luz apresentam menos tecido de sustentação e menor número de células mesófilas por unidade de área, fato que pode levar à produção de folhas mais finas e a menores teores de fibras.

TEORES DE MATÉRIA MINERAL EM FORRAGEIRAS EM INTEGRAÇÃO PECUÁRIA-FLORESTA

Guimarães *et al.* (2018) avaliaram a *U. decumbens* cv. Basilisk em pleno sol e em IPF com linhas duplas, três metros entre plantas, dois metros entre linhas e 20 m entre renques, em IPF com linhas duplas, dois metros entre plantas, dois metros entre linhas e 9 m entre renques, e em IPF com linhas simples, dois metros entre plantas e nove metros entre renques. Alguns minerais apresentaram menores concentrações nos sistemas menos adensados e nas regiões mais afastadas das árvores. Segundo os autores, esse fato ocorre pelo efeito de diluição desses minerais na forragem em locais onde há maior disponibilidade de luz e produção de forragem.

Pereira *et al.* (2015) não encontraram diferenças significativas nos teores de MM na *U. decumbens* em sistemas de IPF e em pleno sol (Tabela 7). Já Sousa *et al.* (2010) encontraram teores de MM de 7,6% em um sistema de IPF formado pela *U. brizantha* cv. Marandu e pelas árvores de aroeira e de 6,4% no pleno sol, sem diferença entre os sistemas.

Tabela 7. Teor de matéria mineral (%) na *U. decumbens* em diferentes sistemas de IPF com *Eucalyptus urophylla* e em pleno sol

Estações	Pleno sol	3x2m	6x4m	10x4m
Verão 1	7,4aA	6,5abAB	5,0bB	6,2abAB
Primavera	6,8aA	7,1aA	6,4aAB	6,7aA
Verão 2	6,1abA	7,3aA	7,1aA	4,8bB

Médias seguidas de letras distintas, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, diferem entre si ($p < 0,05$). Fonte: Adaptado de Pereira *et al.* (2015).

Mishra *et al.* (2010) observaram maiores teores de fósforo e de magnésio nas folhas do capim-buffel (*Cenchrus ciliaris*) em pleno sol (0,6 e 3,4%) em comparação à IPF com *Acacia tortilis* (0,6 e 2,9%). De modo contrário, os teores de potássio e de cálcio foram menores no pleno sol (1,6 e 4,1%) em comparação à IPF (2,2 e 5,0%). O conhecimento das variações causadas nas concentrações dos minerais nas forragens sob a influência de sombra pode ser importante para o estabelecimento de um programa de suplementação mineral para os animais.

DIGESTIBILIDADE EM FORRAGEIRAS EM INTEGRAÇÃO PECUÁRIA- FLORESTA

Lopes *et al.* (2017) não encontraram diferença ($p > 0,05$) na digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS) da *U. decumbens* cultivada em pleno sol (60,9%), cultivada a

10 m de distância (61,0%) ou sob a copa das árvores (60,9%). Os maiores teores de PB e os menores de fibras não foram suficientes para melhorar a digestibilidade da forragem. Esse fato pode ter ocorrido devido à tendência de maior concentração de lignina na planta e à possível ligação com as frações proteica, celulose e hemiceluloses.

Paciullo *et al.* (2009) também não encontraram diferença na DIVMS da *U. decumbens* em pleno sol e em um sistema de IPF formado por árvores espaçadas de 30 m entre renques. Nesse trabalho, o maior espaçamento entre renques não causou variação na composição do pasto, fato que pode explicar a falta de variação na digestibilidade entre os sistemas. Esse resultado é importante por mostrar que, em maiores espaçamentos, o efeito da sombra da árvore não é suficiente para influenciar a composição do pasto. Além disso, a DIVMS foi maior ($p < 0,05$) nas águas (56,1%) em comparação com as secas (50,3%). Essa variação se deve ao melhor valor nutricional (maior teor de PB e menor teor de fibras) da pastagem no verão.

Também Paciullo *et al.* (2014) não verificaram diferença da DIVMS na *U. decumbens* consorciada com *Stylosanthes guianensis* em pleno sol e em IPF com 30 m entre renques e consorciada com *Stylosanthes guianensis*, *Pueraria phaseoloides* e *Calopogonium mucunoides*. Os aumentos nos teores de PB nas pastagens consorciadas em IPF não geraram melhorias na DIVMS e no desempenho animal. As leguminosas contêm altas concentrações de taninos que podem reduzir a digestibilidade da proteína, fato que torna necessária a avaliação da fração proteica nesses experimentos.

Sousa *et al.* (2010) encontraram DIVMS na *U. brizantha* cv. Marandu de 67,3% na IPF e de 67,8% no pleno sol, digestibilidades *in vitro* da matéria orgânica (DIVMO) de 70,6% na IPF e de 71,6% no pleno sol e digestibilidade efetiva da matéria seca (DEMS) de 42,7% na IPF e de 41,9% no pleno sol, sem diferença ($p > 0,05$) entre os tratamentos. A produção de matéria seca digestível foi de 740,3 kg/ha na IPF e de 881,4 kg/ha no pleno sol, uma redução de 16,0%.

Santos *et al.* (2018) observaram maior ($p < 0,05$) DIVMS na *U. brizantha* cv. Piatã no pleno sol com 65,8%, em comparação ao sistema de IPF espaçado de 12 m entre renques com 62,3%. A DIVMS foi maior ($p < 0,05$) na estação chuvosa (68,6%) em relação à estação seca (59,8%). Os autores atribuíram a maior digestibilidade da forrageira no pleno sol à maior relação folha/colmo e à fibra de melhor qualidade. Já a maior digestibilidade no verão pode ser explicada pelo maior teor de PB e pela menor lignificação dos tecidos nessa época.

Ao analisarem a produtividade do capim-piatã nessa mesma área experimental, Santos *et al.* (2016) constataram produção de matéria seca digestível no pleno sol de 9.019 kg/ha/ano, no SSP22 de 4.858 kg/ha/ano, e no SSP12 de 3.103 kg/ha/ano. Essa redução acentuada na produção de matéria seca digestível nos sistemas de IPF com árvores mais adensadas também foi responsável pelo menor ganho de peso animal por área devido à menor oferta de forragem.

Barros *et al.* (2018) encontraram maior ($p < 0,05$) DIVMO nas folhas da *U. brizantha* cv. Piatã em IPF com 14 m (67,7%) em comparação à IPF com 22 m entre renques (63,4%) e ao pleno sol (58,1%). Nos colmos, não foram verificadas grandes variações na DIVMO entre os tratamentos. Os autores justificaram a maior DIVMO nos sistemas integrados à melhor composição química da forragem com maior teor de PB e menor teor de FDN. Geremia *et al.* (2018) não observaram diferença na DIVMS da *U. brizantha* cv. Piatã em pleno sol, em IPF com média e alta densidade de árvores. Entretanto, a produção de matéria seca digestível foi 56,1% maior no pleno sol em comparação à IPF com alta densidade de árvores (Tabela 8).

Tabela 8. Digestibilidade *in vitro* da matéria seca e produção de matéria seca digestível na *U. brizantha* cv. Piatã em pleno sol e em IPF

Tratamento	DIVMS (%)	Produção de MSD (kg/ha)
Pleno sol	72,6	3.920,0
Média densidade	72,6	3.242,3
Alta densidade	75,0	2.280,7

Média seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Fonte: Adaptado de Geremia *et al.* (2018).

CINÉTICA DE DEGRADAÇÃO EM FORRAGEIRAS EM INTEGRAÇÃO PECUÁRIA-FLORESTA

Sousa *et al.* (2010) não verificaram diferença ($p > 0,05$) na produção acumulativa de gases, na taxa de produção fracional de gases e na produção máxima de gases pela *U. brizantha* cv. Marandu em pleno sol e em IPF. A ausência de diferença nesses parâmetros entre os sistemas ocorreu devido à falta de diferença nas digestibilidades das plantas. Comportamento semelhante foi encontrado por Moreira *et al.* (2009) na *U. brizantha* cv. Marandu em IPF com ipê-felpudo e em IPF com aroeira, em que não foi verificada diferença ($p > 0,05$) entre os sistemas sombreados e o pleno sol. Os autores atribuíram a falta de diferença à maior concentração de seringila e à menor relação vanilina/seringila na formação da lignina da forragem nos sistemas integrados. O seringila não se liga à

parede celular da planta; dessa forma, mesmo com maior teor absoluto de lignina, a forragem em IPF não apresenta redução na digestibilidade.

Tosta *et al.* (2015) encontraram máximo desaparecimento da MS da *U. brizantha* cv. Marandu submetida a três densidades de árvores de babaçu com 96 horas de incubação, com média de 68,9%. A degradabilidade potencial (A) foi de 69,5% no tratamento com densidade baixa, de 73,7% com densidade média e de 72,9% com densidade alta. A fração degradável no rúmen (B) foi de 74,7% com baixa densidade, de 60,5% com média densidade e de 61,9% com alta densidade. A constante de degradação (c) foi de 3,7 com baixa densidade, de 2,3 com densidade média e de 3,2 com alta densidade. A degradabilidade efetiva da matéria seca (DEMS) foi maior com 2% de taxa de passagem (50,7%) em comparação a 5% (38,8%) e a 8 % (33,4%), sem grandes diferenças entre as três densidades de árvores. A baixa densidade de árvores em todos os sistemas não provocou diferenças significativas no valor nutricional do pasto, o que pode ter gerado a semelhança na degradabilidade entre os tratamentos. A baixa diferença na degradabilidade efetiva com diferentes taxas de passagem indica a necessidade de se utilizarem estratégias nutricionais para melhorar a degradabilidade ruminal da forragem e aumentar a taxa de passagem ruminal da forragem.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A melhoria do valor nutritivo das forrageiras em IPF vem sendo considerada um fator positivo desses sistemas. O padrão observado em sistemas com arranjos adensados é o maior teor de PB. Os teores de fibras e digestibilidade não apresentam um padrão de alteração bem definido. Embora haja melhoria do valor nutritivo da forragem, é necessário considerar a produção de componentes nutricionais nesses sistemas. A redução da produtividade dos pastos em ambientes sombreados gera menor produção de nutrientes e pode reduzir a produção animal por área. O conhecimento dessas variações produtivas e nutricionais é importante para embasar o planejamento e a implementação desses sistemas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abraham, E.M.; Kyriazopoulos, A.P.; Parissi, Z.M.; Kostopoulou, P.; Karatassiou, M.; Anjalanidou, K.; Katsouta, C. 2014. Growth, dry matter production, phenotypic plasticity, and nutritive value of three natural populations of *Dactylis glomerata* L. under various shading treatments. *Agroforestry systems*, v. 88, n. 2, p. 287-299, doi: 10.1007/s10457-014-9682-9.
- Araújo, R.A.; Rodrigues, R.C.; Costa, C.D.S.; Santos, F.N.S.; Costa, F.O.; Lima, A.J.T.; Silva, I.R.; Rodrigues, M.M. 2016. Composição químico-bromatológica e degradabilidade in situ de capim-Marandu em sistemas silvipastoris formados por babaçu e em monocultivo. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, v.17, n.3, p.401-412, doi:dx.doi.org/10.1590/S1519-99402016000300007.
- Araujo, R.P.; Almeida, J.C.C.; Araújo, S.A.C.; Ribeiro, E.T.; Pádua, F.T.; Carvalho, C.A.B.; Bonaparte, T.P.; Deminicis, B.B.; Lista, F.N. 2013. Produção e composição química de *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk em sistema silvipastoril sob diferentes espaçamentos com *Eucalyptus urophylla* ST Blake. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável*, v.3, n.1, p.90-98.
- Barros, J.S.; Castro, L.C.S.; Silva, F.D.L.; Alves, F.V.; Almeida, R.G.D.; Santos, D.M.D.; Loures, D.R.S. 2018. Productive and nutritional characteristics of Piatã-grass in integrated systems. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, v. 19, n. 2, p. 144-156, doi: 10.1590/S1519-99402018000200001.
- Coelho, J.S.; Araújo, S.A.C.; Viana, M.C.M.; Villela, S.D.J.; Freire, F.M.; Braz, T.G.S. 2014. Morfofisiologia e valor nutritivo do capim-braquiária em sistema silvipastoril com diferentes arranjos espaciais. *Semina: Ciências Agrárias*, v.35, n.3, p.1487-1499, doi: 10.5433/1679-0359.2014v35n3p1487.
- Geremia, E.V.; Crestani, S.; Mascheroni, J.D.C.; Carnevalli, R.A.; Mourão, G.B.; Silva, S.C. 2018. Sward structure and herbage intake of *Brachiaria brizantha* cv. Piatã in a crop-livestock-forestry integration area. *Livestock Science*, v.212, p.83-92.
- Gobbi, K.F.; Garcia, R.; Garcez Neto, A.F.; Pereira, O.G.; Ventrella, M.C.; Rocha, G.C. 2009. Características morfológicas, estruturais e produtividade do capim-braquiária e do amendoim forrageiro submetidos ao sombreamento. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 38, n. 9, p. 1645-1654, doi: 10.1590/S1516-35982009000900002.
- Gómez, S.; Guenni, O.; Guenni, B.L. 2012. Growth, leaf photosynthesis and canopy light use efficiency under differing irradiance and soil N supplies in the forage grass *Brachiaria decumbens* Stapf. *Grass and Forage Science*, v. 68, n. 3, p. 395-407, doi: 0.1111/gfs.12002.
- Guimarães, C.G.; Ribeiro, K.G.; Viana, M.C.M.; Pereira, R.C.; Santos, J.B. 2018. Capim-braquiária no sistema agrossilvipastoril sob diferentes arranjos de eucalipto. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.13, n.1, doi: 10.5039/agraria.v13i1a5512.
- Kirchner, R.; Soares, A. B.; Sartor, L. R.; Adami, P. F.; Migliorini, F.; Fonseca, L. 2010. Desempenho de forrageiras hibernais sob distintos níveis de luminosidade. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 39, n. 11, p. 2371-2379, doi: 10.1590/S1516-35982010001100009.
- Lacerda, M.D.S.B.; Alves, A.A.; Oliveira, M.E.; Rogério, M.C.P.; Carvalho, T.B.; Veras, V.S. 2009. Composição bromatológica e produtividade do capim-andropógon em diferentes idades de rebrota em sistema silvipastoril. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, v. 31, n. 2, p. 123-129, doi: 10.4025/actascianimsci.v31i2.4549..
- Lima, M.A.; Paciullo, D.S.; Morenz, M.J.; Gomide, C.A.; Rodrigues, R.A.; Chizzotti, F.H. 2018. Productivity and nutritive value of *Brachiaria decumbens* and performance of dairy heifers in a long-term silvopastoral system. *Grass and Forage Science*, v.74, n.1, p.160-170, doi: 10.1111/gfs.12395.
- Lima, M. A.; Paciullo, D. S. C.; Silva, F. F.; Morenz, M. J. F.; Gomide, A. A. M.; Rodrigues, R. A. R.; Bretas, I. L.; Chizzotti, F. H. M. 2019. Evaluation of a long-established silvopastoral *Brachiaria decumbens* system: plant characteristics and feeding value for cattle. *Crop & Pasture Science*, v. 70, p. 814–825, doi: 10.1071/CP19027.
- Lopes, C.M.; Paciullo, D.S.C.; Araújo, S.A.C.; Gomide, C.D.M.; Morenz, M.J.F.; Villela, S.D.J. 2017. Massa de forragem, composição morfológica e valor nutritivo de capim-braquiária submetido a níveis de sombreamento e fertilização. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v.69, n.1, p.225-233, doi: 10.1590/1678-4162-9201.

- Mishra, A. K.; Tiwari, H. S.; Bhatt, R. K. 2010. Growth, biomass production and photosynthesis of *Cenchrus ciliaris* L. under *Acacia tortillis* (Forssk) Hayne based silvopastoral systems in semi arid topics. *Journal of Environmental Biology*, v. 31, n. 6, p. 987-993.
- Moreira, G.R.; Saliba, E.O.S.; Maurício, R.M.; Sousa, L.F.; Figueiredo, M.P.; Gonçalves, L.C.; Rodriguez, N.M. 2009. Avaliação da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em sistemas silvipastoris. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, n.61, v.3, p.706-713.
- Paciullo, D.S.C.; Gomide, C.A.M.; Castro, C.R.T.; Fernandes, P.B.; Müller, M.D.; Pires, M.F.Á.; Fernandes, E.L.; Xavier, D.F. 2011. Características produtivas e nutricionais do pasto em sistema agrossilvipastoril, conforme a distância das árvores. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 46, p. 1176-1183, doi: 10.1590/S0100-204X2011001000009.
- Paciullo, D.S.C.; Lopes, F.C.F.; Junior, J.D.M.; Viana Filho, A.; Rodriguez, N.M.; Morenz, M.J.F.; Aroeira, L.J.M. 2009. Características do pasto e desempenho de novilhas em sistema silvipastoril e pastagem de braquiária em monocultivo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 44, n. 11, p. 1528-1535, doi: 10.1590/S0100-204X2009001100022.
- Paciullo, D.S.C.; Pires, M.F.A.; Aroeira, L.J.M.; Morenz, M.J.F.; Maurício, R.M.; Gomide, C.A.M.; Silveira, S.R. 2014. Sward characteristics and performance of dairy cows in organic grass-legume pastures shaded by tropical trees. *Animal*, v. 8, n. 8, p. 1264-1271, doi: 10.1017/S1751731114000767.
- Paciullo, D.S.C.; Gomide, C.D.M.; Castro, C.R.T.; Maurício, R.M.; Fernandes, P.B.; Morenz, M.J.F. 2016. Morphogenesis, biomass and nutritive value of *Panicum maximum* under different shade levels and fertilizer nitrogen rates. *Grass and Forage Science*, v.72, n.3, p.590-600, doi: 10.1111/gfs.12264.
- Pereira, A.C.M.; Almeida, J.C.C.; Moreira, T.G.B.; Zanella, P.G.; Carvalho, C.A.B.; Morais, L.F.; Soares, F.A.; Lima, M.A. 2015. Avaliação do componente arbóreo e forrageiro de sistemas silvipastoris na mesorregião dos “Campos das Vertentes” de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável*, v.5, n.1, p.66-77.
- Pezzopane, J. R. M.; Bernardi, A. C. C.; Azenha, M. V.; Oliveira, P. P. A.; Bosi, C.; Pedroso, A. F.; Esteves, S. N. 2020. Production and nutritive value of pastures in integrated livestock production systems: shading and management effects. *Scientia Agricola*. v.77, n.2, doi: 10.1590/1678-992X-2018-0150.
- Rodrigues, C.O.D.; Araújo, S.A.C.; Viana, M.C.M.; Rocha, N.S.; Braz, T.G.S.; Villela, S.D.J. 2014. Light relations and performance of signal grass in silvopastoral system. *Acta Scientiarum, Animal Science*, v. 36, n. 2, p. 129-136, doi: 10.4025/actascianimsci.v36i2.22398.
- Santos, D.C.; Júnior, R.G.; Vilela, L.; Maciel, G.A.; França, A.F.S. 2018. Implementation of silvopastoral systems in Brazil with *Eucalyptus urograndis* and *Brachiaria brizantha*: Productivity of forage and an exploratory test of the animal response. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 266, p. 174-180, doi: 10.1016/j.agee.2018.07.017.
- Santos, D.C.; Júnior, R.G.; Vilela, L.; Pulrolnik, K.; Bufon, V.B.; França, A.F.S. 2016. Forage dry mass accumulation and structural characteristics of Piatã grass in silvopastoral systems in the Brazilian savannah. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 233, p. 16-24, doi: 10.1016/j.agee.2016.08.026.
- Soares, A.B.; Sartor, L.R.; Adami, P.F.; Varella, A.C.; Fonseca, L.; Mezzalira, J.C. 2009. Influência da luminosidade no comportamento de onze espécies forrageiras perenes de verão. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 38, n. 3, p. 443-451, doi: 10.1590/S1516-35982009000300007.
- Sousa, L.F.; Maurício, R. M.; Moreira, G. R.; Gonçalves, L. C.; Borges, I.; Pereira, L. G. R. 2010. Nutritional evaluation of “Braquiaraço” grass in association with “Aroeira” trees in a silvopastoral system. *Agroforestry Systems*, v. 79, n. 2, p. 189-199, doi: 10.1007/s10457-010-9297-8.
- Tosta, X.M.; Rodrigues, R.C.; Sanchês, S.S.; Araújo, J.S.; Júnior, A.D.S.L.; Costa, C.S.; Santos, N.S.; Jesus, A.P.R.; Silva, I.R.; Costa, F.O.; Shigaki, F.; Mendes, S.S. 2015. Nutritive value and in situ rumen degradability of Marandu palisade grass at different locations within the pasture in a silvopastoral system with different babassu palm densities. *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales*, v.3, n.3, p. 187-193, doi: 10.17138/TGFT(3)187-193.
- Wilson, J.R. Shade-stimulated growth and nitrogen uptake by pasture grasses in a subtropical environment. *Australian Journal of Crop Science*, v.47, n.7, p.1075-1093, 1996, doi: 10.1071/AR9961075.

CAPÍTULO 4

UTILIZAÇÃO DE LEGUMINOSAS EM SISTEMAS INTEGRADOS

*Guilherme Lobato Menezes; Diogo Gonzaga Jayme; Alan Figueiredo de Oliveira;
Lúcio Carlos Gonçalves; Matheus Anchieta Ramirez; Pamella Grossi de Sousa;
Frederico Patrus Ananias de Assis Pires; Rafael Araújo de Menezes*

RESUMO

No Brasil, a maioria das pastagens são exploradas em sistemas de monocultivo. Os dados produtivos são muito heterogêneos e a degradação das pastagens marca um cenário representado por grande volume de produção, mas com baixa produtividade. Esse cenário é justificado pelo não investimento na manutenção da fertilidade do solo e pelo uso de carga animal desajustada. A maior parte dos solos no Brasil apresentam características de baixa fertilidade em alguns macronutrientes primários, como nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K). Desses macronutrientes, estima-se que o N foi responsável por cerca de 40% no aumento da produção agrícola nos últimos 50 anos. Parte desse problema pode ser solucionado de forma sustentável, por meio da fixação biológica do N realizada por leguminosas nos sistemas produtivos. Além de aumentar a fertilidade do solo, estas apresentam bom valor nutricional e são importantes fontes proteicas na dieta de ruminantes. Portanto, o conhecimento das particularidades produtivas dessas forrageiras proporciona sua utilização adequada e estratégica nos sistemas produtivos.

INTRODUÇÃO

A produção de bovinos no Brasil é destaque no cenário mundial. O país possui características edafoclimáticas favoráveis à produção animal, que impulsiona o crescimento do país a cada ano. Outros fatores como as grandes extensões de terra e o menor custo produtivo também favorecem a produção animal em pasto. Entretanto, os dados produtivos são muito heterogêneos e a produtividade no país está abaixo do potencial. As pastagens são exploradas em monoculturas e mais de 90 milhões de hectares (ha) são formados por forragens de origem africana, as principais delas do gênero *Urochloa* spp. (Boddey *et al.*, 2006; Dubeux *et al.*, 2017). Essas pastagens se encontram muitas vezes em elevados estágios de degradação, que podem impactar a produção da forragem em quantidade e qualidade (Paciullo *et al.*, 2014).

Além do monocultivo, as propriedades, em geral, não investem na manutenção da fertilidade do solo, o que ocasiona degradação pela má utilização. As adubações de formação e manutenção representam um elevado custo para as propriedades, principalmente a adubação nitrogenada. Muitas vezes a decisão de adubação está ligada ao preço de venda dos produtos (Dubeux *et al.*, 2017) e as gramíneas precisam ser manejadas adequadamente de forma sustentável.

O consórcio de gramíneas com leguminosas pode reduzir a compra de fertilizantes nitrogenados por fixar e disponibilizar nitrogênio (N) para a pastagem. Essa fixação ocorre por meio da simbiose das leguminosas com bactérias do gênero *Rhizobium*. A disponibilização desse N para a planta possibilita aumento na produção das forrageiras e na capacidade de suporte das pastagens. Essa simbiose pode fixar de 98 a 135 kg N/ha/ano (Cantarutti e Boddey, 1997; Cantarutti *et al.*, 2002; Aroeira *et al.*, 2005; Paciullo *et al.*, 2014; Boddey *et al.*, 2015).

A maior disponibilidade de N e o melhor desempenho das forrageiras em sistemas que utilizam leguminosas podem possibilitar melhor desempenho animal. Tais melhorias são observadas na maior fertilidade do solo e na melhor produção e valor nutritivo da pastagem. Essas pastagens consorciadas apresentam maiores concentrações de proteína bruta (PB) e frações fibrosas de melhor qualidade comparadas às forrageiras tropicais não consorciadas (Paciullo *et al.*, 2014; Cardoso *et al.*, 2016).

No entanto, os benefícios são acompanhados de desafios inerentes à produção do pasto, como a longevidade do estande forrageiro e a melhor utilização pelos animais. A longevidade do pasto pode ser prejudicada por falhas de manejo, competição entre espécies, seletividade sobre os componentes morfológicos de cada espécie, desconhecimento do manejo por parte dos produtores e adubação inadequada. O conhecimento dessas limitações possibilita a escolha de leguminosas adequadas ao sistema produtivo (Aroeira *et al.*, 2005; Casagrande *et al.*, 2013; Paciullo *et al.*, 2014). Objetivou-se avaliar os benefícios que a utilização do consórcio entre pastagem e leguminosa pode ocasionar na produção forrageira e animal, bem como discutir os desafios da utilização desse sistema nas propriedades rurais.

FIXAÇÃO E CONTRIBUIÇÃO DO NITROGÊNIO NO SOLO

As condições edafoclimáticas e a disponibilidade de terra do Brasil permitem grande produção animal e vegetal em pastagens. Entretanto, a maior parte dos solos

apresentam características de baixa fertilidade em alguns macronutrientes primários, como nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) (Jardim *et al.*, 2018).

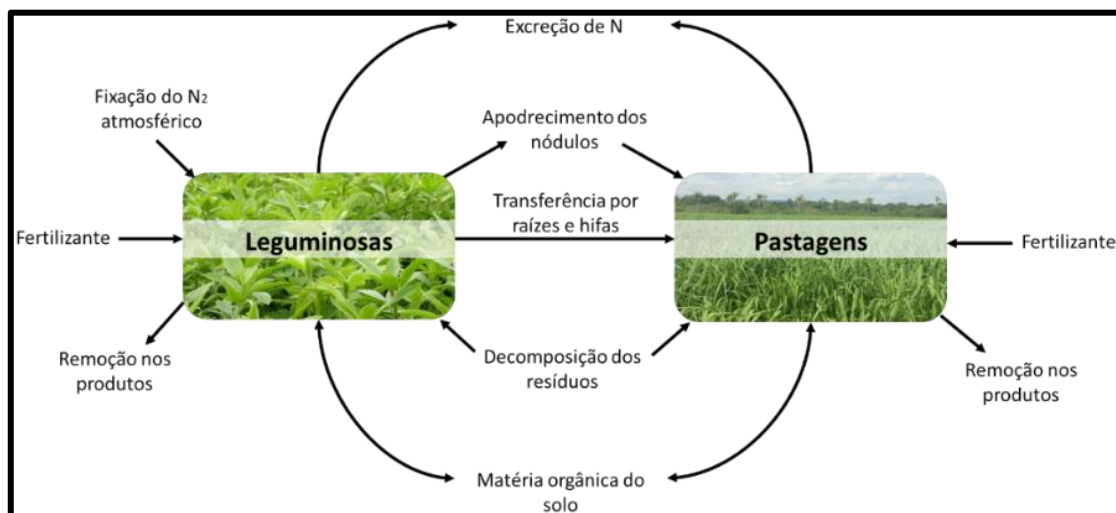
A dependência de fertilizantes industrializados aumenta os custos de produção nas propriedades e pode causar danos aos ecossistemas por meio da emissão de gases de efeito estufa (Huang *et al.*, 2017). Esses fertilizantes são muito utilizados, por contribuírem na atividade agropecuária. Estima-se que o uso de fertilizantes à base de macronutrientes como o N foi responsável por cerca de 40% do aumento da produção agrícola nos últimos 50 anos. O N pode ser fixado naturalmente com o auxílio de microrganismos que constituem a microbiota do solo. Essas bactérias fixadoras de nitrogênio auxiliam na fixação de N no solo e o disponibilizam para outras plantas, em um processo de simbiose (Jardim *et al.*, 2018).

A maior parte do N (78%) disponível na atmosfera está na forma de N_2 , não disponível nutricionalmente para as forrageiras. Os microrganismos fixadores de N são capazes de reduzir o N_2 para a forma inorgânica combinada NH_3 , que fica disponível para as plantas. Esse processo é nomeado fixação biológica do N e permite fornecer pelo menos 65% do N exigido pelas leguminosas (Peoples *et al.*, 2012).

Bactérias do gênero *Rhizobium* associadas a leguminosas fixam nitrogênio no solo pelo processo simbiótico descrito acima. A bactéria usa a energia do metabolismo fotossintético da leguminosa e esta se beneficia do nitrogênio fixado pela bactéria. Nesse processo, ocorre a formação de nódulos que funcionam como raízes laterais (Carvalho, 1986; Grobelak *et al.*, 2015). As pastagens se beneficiam do consórcio com as leguminosas por meio de um processo cíclico em que são observados: aumento do nitrogênio disponibilizado, produtividade forrageira, maior decomposição de matéria orgânica e aumento da biodiversidade do solo (Figura 1).

A capacidade de fixação de nitrogênio no solo pode variar conforme o tipo de leguminosa utilizada (Tabela 1). Essa capacidade não deve ser utilizada como o principal parâmetro na escolha da espécie de leguminosa a ser implementada no consórcio. Embora a fixação de N seja importante, um dos maiores insucessos da técnica é a baixa persistência das leguminosas. Assim, mais atenção deve ser dada a manejos que aumentem a persistência dessas leguminosas. No entanto, esse parâmetro auxilia na escolha em condições de adaptabilidade semelhante entre as espécies.

Figura 1. Fluxos de N em sistemas consorciados e utilização de leguminosas fixadoras de N₂ como fonte de adubação



Fonte: Adaptado de Wilson (1988).

Tabela 1. Exemplo da capacidade de fixação de N no solo por algumas leguminosas

Leguminosas	Capacidade de fixação (kg/ha/ano)
Amendoim (<i>Arachis hypogaea</i>)	33 – 297
Calopogonio (<i>Calopogonium mucunoides</i>)	64 – 450
Guandu (<i>Cajanus cajans</i>)	7 – 235
Leucena (<i>Leucaena leucocephala</i>)	400 – 900
Kudzu tropical (<i>Pueraria phaseoloides</i>)	100
Estilosantes (<i>Stylosanthes</i> sp.)	20 – 263
Soja (<i>Glycine max</i>)	17 – 450

Fonte: Adaptado de Calegari *et al.* (1993); Hardarson (1993); Peoples *et al.* (1995), citado por Moreira e Siqueira (2006).

BENEFÍCIOS DAS LEGUMINOSAS NAS PASTAGENS E ASPECTOS RELACIONADOS AO SUCESSO DO CONSÓRCIO

Em alguns cenários econômicos, os produtores optam por não realizar adubação de manutenção nas pastagens. Essa falta de adubação associada a altas taxas de lotação animal são as principais causas do processo de declínio produtivo das pastagens (Boddey *et al.*, 2004). Nos sistemas de pastejo, geralmente a extração do N é muito superior à reposição. Esse déficit de N torna necessária a suplementação via adubos nitrogenados, que representam o maior custo da propriedade com adubação (Casagrande *et al.*, 2013). Além disso, os agricultores são resistentes em adicionar fertilizantes nitrogenados devido a questões operacionais. Sabe-se que o N é volátil e sujeito à lixiviação, o que exige duas a três aplicações ao ano para ter melhor eficiência.

Uma alternativa para esse problema é a implementação de leguminosas nas pastagens. Esse consórcio objetiva aproveitar os efeitos benéficos da simbiose entre a raiz da leguminosa e as bactérias dos gêneros *Bradirhizobium* e/ou *Rhizobium*, que fixam N da atmosfera. Entretanto, a viabilidade econômica dessa prática depende da persistência da leguminosa no pasto ao longo dos anos (Casagrande *et al.*, 2013; Pereira *et al.*, 2020). As leguminosas possuem hábito de crescimento variado, podendo ser arbustivas, arbóreas e herbáceas, e o sucesso do consórcio com as gramíneas depende das interações ecofisiológicas entre as espécies.

A fixação e o posterior aumento do N no solo ocorrem pela transferência do nitrogênio por meio da decomposição das raízes, dos nódulos, das folhas e dos ramos, bem como da senescência, dos excrementos animais e da transferência direta mediante micorrizas e lixiviação de N das folhas (Burton *et al.*, 1983; 't Mannetje, 1997). Segundo Carvalho (1986), são necessários 30 kg de massa seca para fixar 1 kg de N e, nesse cenário, a escolha de uma forrageira com alta capacidade produtiva é fundamental para adição de grande volume de N no sistema. Outros aspectos positivos da utilização de leguminosas são presença de raiz pivotante profunda, conservação do solo por cobertura, aumento da diversidade e abundância de insetos polinizadores e invertebrados, presença de metabólitos secundários particulares, ampla diversidade taxonômica e genética (Phelan *et al.*, 2015; Schultze-Kraft *et al.*, 2018). Segundo Lewis *et al.* (2005), a família Fabaceae, à qual as leguminosas pertencem, possui aproximadamente 727 gêneros e 19.325 espécies.

Um dos problemas relatados em pastagens com leguminosas é a baixa persistência destas ao longo dos anos. Algumas espécies de leguminosas apresentam alta concentração de taninos condensados. Esses taninos possuem baixa palatabilidade e levam ao baixo consumo das leguminosas (Cadisch *et al.*, 1996). Entretanto, é preciso encontrar um ponto de equilíbrio, considerando que altas concentrações de tanino podem inibir o consumo da leguminosa e aumentar a competição com as gramíneas. Norton e Ahn (1997) demonstraram que, em forragens com alta concentração de taninos, podem ser formados complexos tanino-proteína e pode ser diminuída a solubilidade proteica no rúmen, o que aumenta as concentrações de proteína não degradável no rúmen, com benefícios sobre a produção e o desempenho animal.

A utilização de leguminosas em pastagens tropicais ainda fornece maior aporte de PB para os animais e maior produção de forragem devido à fixação biológica de nitrogênio. Esse aumento do volume e da qualidade do pasto aumenta a capacidade de

suporte das propriedades (Santos *et al.*, 2002). Um estudo realizado no nordeste do Brasil avaliou a produção de massa de forragem, em sistemas consorciados de *Arachis pintoi* e *Urochloa brizantha* cv. Marandu e em sistemas de monocultivo, com a mesma gramínea adubada com 120 kg de N/ha. Nesse estudo, observou-se maior massa de forragem no sistema consorciado, evidenciando-se a eficiência da fixação de nitrogênio por leguminosa, quando comparado aos métodos tradicionais de aplicação (Pereira *et al.*, 2020).

Outro aspecto positivo da utilização de leguminosas é a fixação biológica de N que auxilia na redução da emissão de óxido nitroso (N₂O). A emissão de N₂O é agravada pelo uso excessivo de fertilizantes industriais nitrogenados. Há relatos de forte relação entre a utilização de fertilizante industrial e a emissão de N₂O prejudicando a sustentabilidade do sistema produtivo (Dobbie e Smith, 2001).

Além da redução de N₂O, a utilização das leguminosas possibilita a redução de outros gases de efeito estufa, como o metano (CH₄). Esse tema não será abordado neste capítulo, mas é válido ressaltar que, apesar de as emissões de CH₄ serem proporcionais ao consumo de matéria seca (MS), a redução das frações fibrosas e o aumento do teor proteico melhoram o valor nutritivo da dieta. Esses animais alimentados com dietas de melhor valor nutricional podem apresentar maior eficiência produtiva e emitir menos CH₄ ao longo do ciclo produtivo.

UTILIZAÇÃO DE LEGUMINOSAS COMO BANCOS PROTEICOS

O valor nutritivo de pastagens tropicais acompanha a estacionalidade climática e apresenta baixo valor em alguns períodos do ano. Nessas épocas, faz-se necessária a suplementação proteica para maximizar o desempenho animal. Os alimentos proteicos representam um importante custo nas dietas, além de sofrerem grandes oscilações no mercado. Encontrar fontes alternativas sustentáveis para a suplementação proteica animal pode reduzir os custos produtivos e maximizar o lucro.

Algumas leguminosas podem apresentar baixa aceitabilidade pelos bovinos no período das águas. Nesse período, as forrageiras tropicais apresentam melhor valor nutritivo, proporcionando bom desempenho aos animais. Nos períodos de transição e de secas, o valor nutricional das pastagens diminui e os animais respondem em ganho de peso com a inclusão de fontes proteicas na dieta (Humphreys, 1991). Esse é um dos pontos positivos da utilização de leguminosas tanto como bancos proteicos quanto como pastagens consorciadas.

Um dos benefícios da utilização das leguminosas como bancos proteicos em comparação a pastagens consorciadas é a menor competição interespecífica, o que facilita o manejo da pastagem, que pode ser um entrave em sistemas consorciados. A escolha da leguminosa para formação dos bancos proteicos deve considerar a persistência, a produtividade, a composição química, a palatabilidade e a resistência a pragas e a doenças (Townsend *et al.*, 1997).

Manella *et al.* (2002) avaliaram o desempenho de 192 novilhos Nelore recém-desmamados, com peso em média de 152 kg, em quatro tratamentos: *Urochloa brizantha* não suplementado (controle); *Urochloa brizantha* e suplementação na seca, de junho a novembro, utilizando proteinado com 46,9% de PB e 70% de proteína degradável no rúmen (PDR); *Urochloa brizantha* e suplementação, ao longo do ano, com 46,9% de PB e 70% de PDR na seca e 43,9% de PB e 60% de PDR nas águas; e *Urochloa brizantha* com acesso ao banco proteico de *Leucaena leucocephala* representando 25% da área do piquete. A *Urochloa brizantha* apresentou teores de PB e de digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS) 39,1 e 8,6% maiores na época das águas em relação à seca. Esses resultados demonstram a piora no valor nutritivo dessa gramínea na estação seca. A *Leucaena leucocephala* apresentou 4,6 e 3,6 vezes maior teor de PB comparada à *Urochloa brizantha* nos períodos das águas e das secas.

O banco proteico possibilitou desempenho satisfatório nas águas, não diferindo ($p < 0,05$) do tratamento com suplementação anual. Os dois tratamentos foram superiores aos outros tratamentos não suplementados na seca. Na estação seca, o banco proteico apresentou menor ($p < 0,05$) desempenho comparado aos tratamentos com suplementação, e não diferiu ($p > 0,05$) do tratamento controle. Entretanto, os animais com acesso ao banco proteico, ao final do estudo, apresentaram, em média, 87 g a mais ($p < 0,05$) de ganho médio diário (GMD) comparados aos animais do grupo controle e, ao final do ano, produziram 1,06@ a mais em comparação aos do tratamento controle. O banco proteico pode ser uma alternativa na estação seca para suplementação animal com baixo custo e bom valor nutritivo no período em que o investimento com suplementação é maior.

FATORES LIMITANTES AO DESENVOLVIMENTO DAS LEGUMINOSAS EM PASTAGENS CONSORCIADAS

O manejo de pastagens consorciadas entre gramíneas e leguminosas tem como objetivo a produção animal sustentável, a minimização dos custos com fertilizantes industriais e a possibilidade de maior fixação biológica de nitrogênio no solo. Ao longo

dos anos, a adubação química das pastagens foi utilizada para aumentar a produtividade por meio do aumento do ritmo morfogênico, da densidade, da renovação e de maiores taxas de acúmulo da pastagem (Paiva *et al.*, 2011; Yasuoka *et al.*, 2018).

Bloem *et al.* (2009) demonstraram que os problemas da integração não são apenas de ordem produtiva, mas também cultural. Apesar das vantagens conhecidas da fixação do nitrogênio nos sistemas de cultivo, menos de 10% das lavouras de grãos plantadas anualmente na África do Sul são leguminosas. Isso ocorre pelo desempenho semelhante entre as culturas consorciadas e com adubação química. Segundo os autores, alguns pontos devem ser explorados para ampliar a utilização das leguminosas, entre eles a conscientização e a comunicação, o fortalecimento institucional local, a extensão de agricultor a agricultor, a experimentação agrícola e as parcerias.

Apesar dos benefícios supracitados, o manejo do consórcio interespécies forrageiras não é fácil. Existem vários fatores, como: preferência do animal, pontos ótimos de pastejo diferentes, capacidade de rebrota entre as espécies, capacidade produtiva de sementes, tolerância a sombreamento, fertilidade de solo, entre outros, que podem tornar inviável o manejo integrado ao longo dos anos.

Casagrande *et al.* (2013) relatam como um dos fatores limitantes à implementação das leguminosas a inexistência de germoplasmas adaptados às diversas regiões do país, os erros de manejo no consórcio com gramíneas e os paradigmas gerados pelo insucesso da implementação da cultura no passado. Esses insucessos ocorreram principalmente devido à baixa persistência de leguminosas herbáceas perenes associadas a gramíneas tropicais (Shelton *et al.*, 2005). Tendo em vista os pontos positivos da inter-relação gramínea e leguminosa, é necessário definir estratégias que possibilitem a manutenção dessas nas pastagens (Epifanio *et al.*, 2019).

A escolha da leguminosa deve ser analisada pontualmente em cada propriedade. As espécies apresentam diferentes exigências em fertilidade de solo, condições climáticas, produção de sementes, dificuldades de manejo em pastejo consorciado, porte e hábito de crescimento. Uma decisão inadequada pode tornar a persistência do consórcio em longo prazo um dos principais entraves (Barcellos *et al.*, 2008; Gomes *et al.*, 2018).

Outra dificuldade na escolha da leguminosa é a tolerância ao sombreamento. Entre as espécies, a *Pueraria phaseoloides*, a *Calopogonium mucunoides* e o *Arachis pintoii* se desenvolvem bem em condições de menor luminosidade (Carvalho e Pires, 2008). Isso deve ser considerado principalmente em consórcio com gramíneas de maior porte ou em áreas de integração pecuária-floresta. Um estudo realizado no Campo Experimental da

Embrapa-Acre, em região de floresta tropical úmida, avaliou a produção de biomassa da leguminosa *Arachis pintoi* com 0, 30, 50 e 70% de sombreamento. O efeito do sombreamento em reduzir o potencial produtivo foi baixo, a leguminosa produziu 8, 14 e 15% menos ($p < 0,05$) biomassa com o aumento do sombreamento. Entretanto esse aumento reduziu ($p < 0,01$) a produção de biomassa subterrânea em 85, 62 e 45%, o que pode influenciar a capacidade de recuperação e rebrota das leguminosas em regimes mais intensos de corte ou sob pastejo direto (Andrade e Valentim, 1999).

Mesmo em leguminosas com maior tolerância ao sombreamento é observada redução na produção de biomassa. Guenni *et al.* (2018) avaliaram o desempenho da *Centrosema molle* e da *Centrosema macrocarpum* cultivadas sob 30 ou 100% de radiação fotossinteticamente ativa (RFA) no período chuvoso, na Venezuela. A fotossíntese foliar se reduziu ($p < 0,05$) em 37% nas áreas com 30% de RFA. A produção de massa total teve respostas distintas entre as leguminosas. A *C. macrocarpum* reduziu ($p < 0,05$) sua produção em 39,5% com a menor intensidade luminosa. Já a *C. molle* não diferiu entre as duas intensidades. Os autores concluíram que as duas espécies podem ser utilizadas em condições de menor luminosidade. Entretanto, o estudo foi conduzido em apenas quatro meses, o que torna necessária a avaliação por períodos maiores para analisar a persistência dessas leguminosas sob sombreamento.

Entre os desafios à persistência das leguminosas, pode ser apontada a alta palatabilidade de algumas espécies. Esse fator tem sido uma das principais razões de falhas e baixas taxas de adoção do pastejo consorciado (Dubeux *et al.*, 2017; Pereira *et al.*, 2020). As espécies que apresentam baixa palatabilidade têm seu estabelecimento facilitado.

Paciullo *et al.* (2014) avaliaram, por três anos, as características do consórcio entre gramíneas e leguminosas (*Urochloa decumbens*, *Stylosanthes* spp., *Pueraria phaseoloides* e *Calopogonium mucunoides*), em sistemas de pleno sol e silvipastoris consorciados com *Acacia mangium*, *Gliricidia sepium* e *Leucaena leucocephala*. Esse estudo foi conduzido na Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), Coronel Pacheco, Minas Gerais, Brasil, de fevereiro de 2007 a junho de 2009, na estação chuvosa (janeiro a maio). No sistema silvipastoril, utilizaram-se 20 metros de espaçamento entre renques e cinco metros entre as árvores. Para o pastejo, foram utilizados animais ½ Holandês x ½ sangue Zebu, divididos em dois grupos com seis animais.

No sistema em pleno sol, a proporção de leguminosas nas pastagens aumentou no segundo ano em razão de um ataque intensivo de cigarrinhas à *Urochloa decumbens* que reduziu seu crescimento e permitiu o desenvolvimento das leguminosas. Entretanto, essa proporção diminuiu acentuadamente no terceiro ano. Segundo os autores, as espécies de *Stylosanthes* spp. foram as principais forrageiras pastejadas. Essa preferência de pastejo, associada à baixa produção de sementes pelo *Stylosanthes* spp., justifica a redução no desenvolvimento das leguminosas. No sistema silvipastoril, também foi observado menor participação do *Stylosanthes* spp.

Aroeira *et al.* (2005) avaliaram o consumo de matéria seca, a produção e a porcentagem de participação de leguminosas na dieta de vacas mestiças Holandês x Zebu, em pastagem consorciada de *Urochloa decumbens*, *Stylosanthes guianensis* cv. Mineirão e leguminosas arbóreas. O experimento foi realizado na Embrapa Gado de Leite, em Coronel Pacheco, MG, durante o período de janeiro de 2001 a novembro de 2002. Foram utilizadas três leguminosas arbóreas das espécies *Acacia mangium*, *Acacia angustissima*, *Mimosa artemisiana* e o *Eucalyptus grandis*, plantados em faixas de 10 m e intercalados com faixas de 30 m, plantados com *U. decumbens* e *Stylosanthes guianensis*. A produção de matéria seca da *U. decumbens* variou conforme as condições climáticas, e a produção de leguminosa se manteve constante ao longo do primeiro ano. A participação da leguminosa na pastagem, de janeiro a maio, variou de 26 a 29% e, em outubro, representou 56%. Entretanto, houve um decréscimo linear na produção de matéria seca do *Stylosanthes guianensis* diminuindo 19,75 kg de MS/ha/mês ($R^2 = 0,81$). No segundo ano, houve um decréscimo na porcentagem de leguminosa pela menor adaptabilidade às condições edafoclimáticas da região, compondo 10% da participação na pastagem. Assim, a leguminosa teve menor participação na dieta das vacas e menor consumo em percentual do peso vivo.

UTILIZAÇÃO DE LEGUMINOSAS EM SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA

Os sistemas de integração lavoura-pecuária (ILP) intercalam, em uma mesma área, durante diferentes períodos, a produção de bovinos, lavoura e pastagens. Esse sistema pode ser utilizado para reduzir os desafios impostos aos sistemas de monocultivo, como estratégia para reforma de pastagens e para engorda de animais na entressafra. Nesse modelo produtivo, ocorrem ciclos de pastagens que são interrompidos por safras de lavouras e, como consequência, os pastos são renovados continuamente. Nesta seção,

serão abordados o consórcio com lavouras e os benefícios da utilização das leguminosas na produção de ruminantes.

As leguminosas forrageiras podem apresentar baixa persistência nas pastagens. Esse problema, em sistemas consorciados, parece ser menor quando utilizadas na ILP, já que frequentemente ocorre renovação das pastagens e das leguminosas. Associados a esse benefício são observados todos os outros supracitados do uso das leguminosas nas produções animal, vegetal e no solo. Outro benefício da utilização das leguminosas é a produção de biomassa que compete com ervas daninhas por luz, nutrientes, água e espaço subterrâneo e acima do solo. Essa competição interfere no crescimento das ervas daninhas e retarda seu estabelecimento, sem competir fortemente com a cultura principal (Varret *et al.*, 2017).

Esse consórcio foi utilizado pela fazenda Santa Brígida, em 2006, na cidade de Ipameri, GO. Foi desenvolvida a consorciação do milho com espécies guandu-anão (*Cajanus cajan*) ou crotalária (*Crotalaria spectabilis*), com o objetivo de realizar adubação verde, permitindo fixação de N no solo, via fixação biológica. Nesse sistema, o manejo produtivo é semelhante ao plantio direto, com a dessecação da palhada entre duas a três semanas antes da semeadura do milho e/ou da leguminosa. A semeadura da leguminosa pode ser realizada no mesmo dia do plantio do milho. Recomenda-se, após a colheita do milho, esperar o estabelecimento completo da pastagem, que ocorre em cerca de 30 a 60 dias (Oliveira *et al.*, 2010).

As leguminosas apresentam potencial de redução nas adubações nitrogenadas. Estudos realizados por Oliveira *et al.* (2010), no município de Santo Antônio de Goiás-GO, e na Fazenda Santa Brígida, no município de Ipameri-GO, na safra 2008/2009, avaliaram a produtividade do milho em sistemas de monocultivo sem adubação nitrogenada, com adubação nitrogenada em níveis crescentes (30, 60 e 90 kg de N/ha) e sistemas integrados de milho consorciado com guandu-anão (*Cajanus cajan*) e milho consorciado com crotalária (*Crotalaria spectabilis*), sem adubação nitrogenada e com 90 kg de N/ha.

No estudo realizado em Santo Antônio de Goiás, o consórcio com guandu-anão não apresentou melhoria ($p < 0,05$) na produtividade do grão em comparação aos sistemas de monocultivo com a mesma adubação. Já o consórcio da crotalária adubada com 90 kg de N/ha comparado ao monocultivo com a mesma adubação reduziu em 12,3% ($p < 0,05$) a produção do milho. Tal constatação pode ser atribuída a uma competição entre as espécies ou ao efeito alelopático da leguminosa. Todos os tratamentos sem adubação

apresentaram a mesma produção. Já no estudo realizado em Ipamari-GO, ambas as leguminosas (*Cajanus cajan* e a *Crotalaria spectabilis*) não aumentaram a produtividade de grão comparadas ao milho em monocultivo sob a mesma adubação. Entretanto, vale ressaltar que os estudos foram conduzidos em uma safra e, ao longo dos anos, a produtividade nos sistemas de monocultivo pode diminuir. Além disso, há a possibilidade de utilização das leguminosas para pastejo na entressafra e a menor susceptibilidade a veranicos devido à melhoria do solo

Um experimento realizado por Heinrichs *et al.* (2005), na Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz / Universidade de São Paulo, Piracicaba (SP), avaliou, em duas safras, 1995/96 e 1996/97, a utilização da adubação verde durante o plantio do milho ou 30 dias após. No plantio do milho, foi utilizada adubação com 30 kg/ha de N (ureia), 72 kg/ha de P₂O₅ (superfosfato triplo), 48 kg/ha de K₂O (cloreto de potássio) e adubação de cobertura com 90 kg/ha de N na forma de ureia. Para adubação verde, foram utilizadas quatro espécies de leguminosas (*Cajanus cajan*, *Crotalaria spectabilis*, *Canavalia ensiformis*, *Mucuna deeringiana*), plantadas manualmente nas entrelinhas do milho há 45 cm da linha, sem adubação, com quantidade de 10 (*Canavalia ensiformis*, *Mucuna deeringiana*) ou 20 (*Cajanus cajan*, *Crotalaria spectabilis*) sementes/metro. Na primeira safra, não houve diferença no rendimento da cultura do milho consorciado com adubos verdes. Já na segunda safra, o consórcio com *Canavalia ensiformis* aumentou ($p < 0,05$) em 16,8% a produtividade de grãos comparado ao tratamento controle. A produtividade do milho não diferiu ($p < 0,05$) com as outras leguminosas em comparação ao grupo testemunha.

Em uma metanálise publicada por Varret *et al.* (2017), com dados publicados em 34 artigos científicos, totalizando 476 unidades experimentais, foi avaliado se o consórcio de leguminosas poderia controlar o crescimento de ervas daninhas por meio da competição e manter o rendimento das lavouras, comparado a sistemas convencionais com capina. O estudo envolveu 15 culturas comerciais e 26 espécies de leguminosas em 18 países. Quando avaliado apenas o controle de ervas daninhas, o consórcio melhorou em 82% das unidades experimentais em relação aos tratamentos sem controle e 66% em relação aos tratamentos com controle. Ao se avaliar o controle de plantas daninhas e o rendimento, houve melhora em 52% das unidades experimentais em comparação ao sem controle de ervas daninhas e em 36% em comparação ao com controle de ervas daninhas. Esses resultados indicam que o consórcio é benéfico para sistemas orgânicos e de baixo

insumo, permitindo a produtividade das lavouras principais com supressão do crescimento das plantas daninhas.

COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS PRINCIPAIS LEGUMINOSAS

A composição química auxilia na escolha do alimento a ser utilizado para compor a dieta animal. Entretanto, em sistemas de pastejo, essa composição passa a ter um menor impacto em comparação a sistemas confinados, já que o animal possui capacidade de seleção e o valor nutricional do alimento apresenta grande variação ao longo do ano. Nas pastagens tropicais, uma das principais limitações ao desempenho de ruminantes no período seco do ano é o baixo valor nutricional ocasionado pelo déficit proteico das pastagens e pela fibra de baixa digestibilidade, o que resulta em menor consumo.

Algumas propriedades adotam a utilização de leguminosas como fonte proteica suplementar com o objetivo de aumentar o desempenho animal no período seco do ano. No entanto, a composição química das leguminosas pode variar dependendo da espécie, do estágio de maturação e das condições climáticas (Baath *et al.*, 2018).

Sanderson e Wedin (1989) avaliaram o efeito do estágio fenológico sobre as concentrações de FDN e DIVMS em plantas de alfafa (*Medicago sativa* L.). O estágio fenológico foi responsável por 97% e 98% da variação da concentração de FDN na variação da DIVMS nas hastes. A digestibilidade do caule diminuiu e as concentrações de FDN aumentaram com a maturidade. Essas alterações foram responsáveis pela maior parte da variação na DIVMS, já que a composição das folhas mudou pouco com a maturidade.

No Brasil existe uma grande diversidade de leguminosas. Na Tabela 2, são apresentados os dados de composição química média de algumas leguminosas e das duas principais gramíneas presentes no Brasil. Os dados foram extraídos da Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (CQBAL 4.0). É válido ressaltar que esses são dados médios e, portanto, as comparações devem ser feitas com cuidado.

As leguminosas apresentaram valores médios de nutrientes digestíveis totais maiores que 59,00%. Esses valores são superiores aos observados para gramíneas tropicais (Tabela 2). Além disso, algumas leguminosas, como a *Leucaena leucocephala*, apresentam elevadas concentrações de nutrientes digestíveis totais, devido às elevadas concentrações de carboidratos não fibrosos (CNF) e às menores concentrações de FDN. A concentração média de PB na MS média é maior nas leguminosas comparadas às gramíneas tropicais (*U. brizantha* e *U. decumbens*) (184,6 x 68,1 g/kg de MS). Os valores

de PB estão próximos ao descrito para leguminosas por Paciullo *et al.* (2014) (178,0 a 206,0 g/kg de MS). Os teores de FDN e CNF médios também são diferentes entre as forrageiras. As gramíneas apresentam, em média, 1,43 vez maior FDN e 61% a menos de CNF do que as leguminosas. A lignina está presente em maior proporção em algumas leguminosas e ocasiona pior digestibilidade *in vitro* da matéria seca. O feijão-guandu (*Cajanus cajan*) apresentou 2,32 vezes maiores concentrações de lignina e menor digestibilidade comparado às outras leguminosas e gramíneas avaliadas.

Os dados avaliados foram extraídos da Tabela Brasileira de Composição de Alimentos referente a dados médios nacionais. Esses devem ser avaliados na propriedade para decisões mais assertivas, considerando-se os estados de maturação da pastagem e a época do ano.

Tabela 2. Composições químicas médias de leguminosas e forrageiras tropicais em porcentagem da matéria seca

Composição química	<i>Arachis pintoi</i>	<i>Cajanus cajan</i>	<i>Leucaena leucocephala</i>	<i>Stylosanthes guianensis</i>	<i>Neonotonia wightii</i>	<i>Urochloa brizantha</i>	<i>Urochloa decumbens</i>
(a) CNF	20,91	5,79	31,16	25,23	17,78	14,93	12,81
(b) MS	23,63	35,46	31,98	31,60	24,32	34,09	28,95
(c) PB	18,35	19,08	21,19	12,74	21,91	6,91	6,70
(d) PDR	58,50	25,41	33,07	-	91,88	-	70,10
(e) PNDR	41,50	74,59	66,94	-	8,12	-	29,90
(f) FDN	46,58	58,48	44,85	57,75	50,06	70,57	73,10
(g) FDA	26,79	32,01	25,51	33,30	23,79	39,56	39,29
(h) LIG.	7,06	13,89	8,65	9,60	-	6,59	5,35
(i) DIVMS	68,68	48,93	47,19	53,00	-	55,30	55,93
(j) EE	1,93	3,53	3,87	3,19	3,65	1,96	1,81
(k) Cinzas	8,59	6,58	6,17	6,69	-	7,04	7,88
(l) NDT	58,55	42,03	78,88	60,35	-	54,08	55,84

(a) Carboidrato não fibroso, (b) matéria seca, (c) proteína bruta, (d) proteína degradável no rúmen, (e) proteína não degradável no rúmen, (f) fibra em detergente neutro, (g) fibra em detergente ácido, (h) lignina, (i) digestibilidade *in vitro* da matéria seca, (j) extrato etéreo, (k) cinzas, (l) nutrientes digestíveis totais, (m) cálcio, (n) fósforo.

Fonte: Adaptado de CQBAL 4.0 (2019).

DESEMPENHO ANIMAL EM SISTEMAS CONSORCIADOS COM LEGUMINOSAS

Um dos maiores desafios ao desempenho animal em pasto em regiões tropicais é a estacionalidade na produção de forragem. Para abater animais jovens ou aumentar a

produção de leite, é necessária a utilização de estratégias nutricionais por meio da suplementação ou de formas mais sustentáveis que visam à produção de forragens com melhor valor nutritivo. As leguminosas podem ser utilizadas consorciadas ou como bancos de proteína e têm grande potencial em maximizar desempenho por possuírem bom valor nutritivo, boa fonte proteica solúvel, boa digestibilidade; além disso, podem apresentar menor teor de fibra que as gramíneas tropicais (Manella *et al.*, 2002; Muir *et al.*, 2014; Gomes *et al.*, 2018).

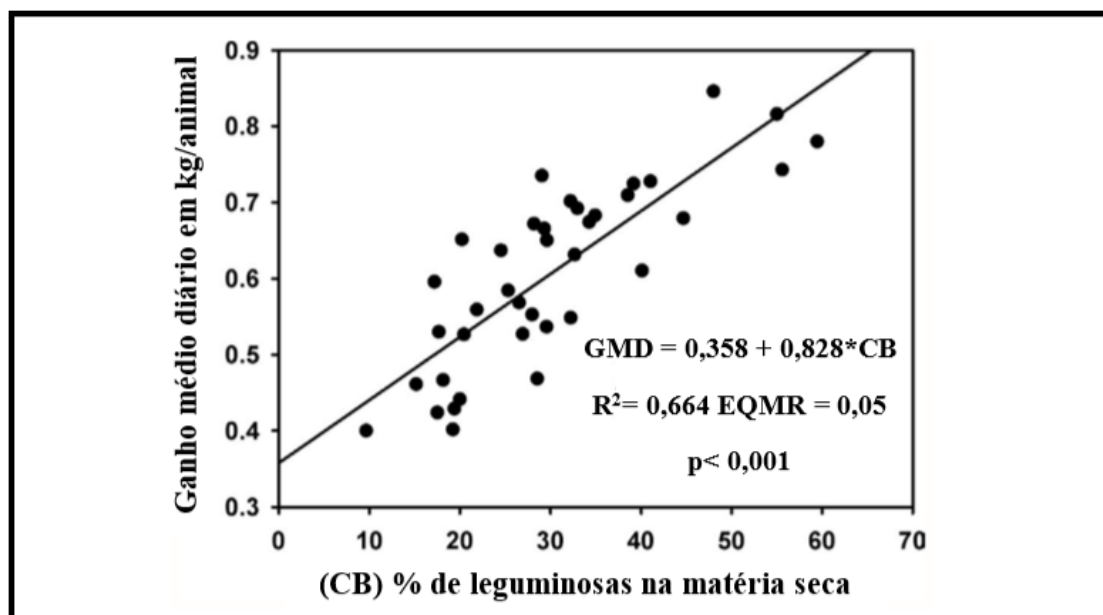
As altas concentrações de proteína bruta (17,8 a 20,6%) constituem a principal vantagem nutricional da utilização das leguminosas em comparação a sistemas de monocultura de pastagem (Paciullo *et al.*, 2014). Além do maior teor de PB, as leguminosas podem aumentar a capacidade de suporte das propriedades por meio do maior aporte de N. Assim, é possível proporcionar maior produção de forragem com menor teor de FDN e menor variação nutricional ao longo do ano (Jingura *et al.*, 2001; Paciullo *et al.*, 2014; de Mello *et al.*, 2014).

Utilizar fontes proteicas alternativas pode ser vantajoso quando a fonte energética não é limitante. Níveis adequados de proteína degradável no rúmen e de energia serão utilizados para o crescimento dos microrganismos ruminais e a produção de proteína microbiana. Esses microrganismos possuem de 20 a 60% de PB e saem do rúmen em direção ao omaso, ao abomaso e ao intestino delgado para digestão e fornecimento de aminoácidos ao animal. A proteína microbiana possui um elevado valor biológico (66 a 87%) comparado ao valor ideal (100), além de ser rica em lisina e treonina. O suprimento adequado de proteína metabolizável formada pelas proteínas microbiana, endógena e não degradada no rúmen possibilita bons ganhos produtivos aos animais (Owens e Zinn, 1993).

O melhor valor nutricional impacta o consumo de matéria seca e está diretamente relacionado à porcentagem de leguminosa nas pastagens (Aroeira *et al.*, 2005). O maior consumo pode ser explicado tanto pelo maior aporte proteico na dieta como pela menor concentração de FDN nas leguminosas e melhor digestibilidade da fração fibrosa. Respostas de ingestão de forragem com suplementação ocorrem com maior frequência quando o conteúdo de proteína bruta for inferior a 6 a 8% (Van Soest, 1994). Vacas em lactação consomem por dia, em média, até 1,2% do peso vivo de FDN; a partir desse valor, é limitado o consumo da forragem por preenchimento ruminal físico (Mertens 1992; Lascano e Euclides, 1996).

Pereira *et al.* (2020) avaliaram de 2005 a 2014 a produtividade de bovinos de corte no extremo sul da Bahia em pastagens consorciadas de *Urochloa brizantha* cv. Marandu e *Arachis pintoii* (amendoim forrageiro) em comparação ao sistema de monocultivo de *Urochloa brizantha* cv. Marandu, sob lotação rotativa adubada com 120 kg de N/ha. O estudo foi dividido em estações quentes (primavera e verão) e estações frias (outono e inverno). A taxa de lotação foi ajustada em cada piquete para manter a oferta de forragem em 4% do peso corporal (PC) / dia de massa de forragem. Houve interação entre o tipo de pasto e a estação na massa de forragem e na taxa de lotação. A taxa de lotação foi 17 e 16,4% maior ($p=0,049$, $p=0,04$) nas pastagens consorciadas na estação quente e semelhante na estação fria. O ganho de peso vivo por ha foi 28,7% maior ($p<0,001$) nas pastagens mistas, e o ganho médio diário (GMD) foi 17% maior ($p <0,001$) nas pastagens com leguminosa independentemente da estação. O GMD apresentou relação linear positiva ($p<0,001$; $R^2 = 66,4\%$) com a proporção de leguminosas no pasto (Figura 5). Esses resultados demonstram que as leguminosas manejadas corretamente podem ser estáveis ao longo do tempo e apresentam potencial de utilização para maximizar desempenho. Entretanto, como existe grande número de espécies na família Fabaceae, o melhor desempenho depende da característica da leguminosa, da forma de crescimento, da disponibilidade de folhas e da produtividade.

Figura 5. Regressão linear do declínio mensal na produção de matéria seca em kg/ha de *Stylosanthes guianensis* cv. Mineirão



EQMR = erro quadrático médio da raiz; GMD = ganho médio diário; CB = composição botânica.

Fonte: Adaptado de Pereira *et al.* (2020).

As leguminosas arbóreas podem ser utilizadas nos sistemas silvipastoris com maiores benefícios ao solo, pois elas reciclam nutrientes de camadas mais profundas do solo e disponibilizam para as gramíneas. Além disso, promovem melhoria por proporcionarem menor estresse térmico aos animais, principalmente em regiões de clima tropical. Entretanto, nesses sistemas o dimensionamento e o espaçamento entre renques podem influenciar a produção do capim devido ao sombreamento e reduzir a produção animal por área.

Dos Santos *et al.* (2020) avaliaram de 2012 a 2015 o desempenho animal em sistemas de pleno sol e silvipastoris formados por *Urochloa decumbens* consorciados com *Gliricidia sepium* (gliricidia) e *Mimosa caesalpinifolia* (sabiá). O estudo foi conduzido na estação de pesquisa Itambé, localizada na região costeira de Pernambuco/Brasil. As leguminosas arbóreas foram plantadas em fileiras duplas (15,0 x 1,0 x 0,5 m) e a população de árvores foi de 2500 árvores/ha. Foram utilizados animais mestiços Holandês x Zebu com peso médio inicial de $165 \pm 16,5$ kg. O ganho médio diário não diferiu ($p > 0,05$) entre os tratamentos, entretanto o ganho por área no sistema em pleno sol foi 23,6% maior ($p < 0,05$) comparado aos sistemas mistos. O espaçamento aumentou a competição entre componentes arbóreos e herbáceos, reduzindo a produção de massa de forragem (34,5%) e a produção animal por área.

PONTOS POSITIVOS E NEGATIVOS DE CULTIVARES DE LEGUMINOSAS FORRAGEIRAS TROPICAIS

As Tabelas 3.1 e 3.2 resumem os principais pontos positivos e negativos de algumas leguminosas, assim como características vegetativas, exigência em fertilidade do solo, dificuldades de manejo e produção de sementes necessárias para a manutenção da forrageira na pastagem com o passar dos anos. Os dados tabelados foram adaptados de Barcellos *et al.* (2008).

Tabela 3.1. Características adaptativas, pontos fortes e fracos de leguminosas tropicas em pastoreio

<i>Espécie</i>	<i>Cultivar</i>	<i>Aspectos positivos</i>	<i>Aspectos negativos</i>
<i>Arachis pintoi</i>	Amarillo	Boa qualidade da forragem; persistência; tolerante ao encharcamento; boa capacidade de consorciação. Também utilizado como planta de cobertura.	Baixa retenção de folhas na seca; baixa oferta e elevado preço de sementes e baixa produtividade em vários locais.
	Belmonte	Boa qualidade da forragem; persistência; tolerante ao encharcamento; boa capacidade de consorciação. Também utilizado como planta de cobertura.	Belmonte idem cv. Amarillo Baixa retenção de folhas na seca e propagação apenas por mudas.
<i>Calopogonium mucunoides</i>	Comum	Oferta de sementes no mercado; boa capacidade de ressemeadura natural; facilidade de estabelecimento. Pode ser utilizado como planta de cobertura.	Qualidade da forragem; baixa retenção de folhas na época seca; baixa aceitabilidade/palatabilidade no período chuvoso.
<i>Cajanus cajan</i>	Super N	Crescimento rápido; uso múltiplo; oferta de sementes no mercado; facilidade de estabelecimento.	Baixa retenção de folhas na época seca. Ciclo de vida bienal.
<i>Leucaena leucocephala</i>	Cunningham	Qualidade da forragem; alta palatabilidade; capacidade de consorciação; alta produtividade na estação chuvosa e, em locais de alta fertilidade natural, boa produção na seca; oferta de sementes no mercado. Alta sobrevivência depois de estabelecido.	Baixa tolerância a solos ácidos, afetando a retenção de folhas na seca. Não pode ser o único volumoso na dieta, devido à presença de mimosina (fator antinutricional).
<i>Pueraria phaseoloides</i>	Comum	Capacidade de consorciação com gramíneas agressivas; alta qualidade da forragem, adaptada a áreas úmidas; pouco atacado por pragas e doenças; boa ressemeadura natural.	Baixa retenção de folhas na seca.
<i>Stylosanthes guianensis</i>	Mineirão	Adaptação a solos ácidos e de baixa fertilidade; alta retenção de folhas na época seca; resistência à antracnose; florescimento tardio. Muito utilizado como banco de proteína no período seco.	Difícil manejo do pastejo; alto custo das sementes; pequena ressemeadura natural; estabelecimento/crescimento inicial lento.
<i>Stylosanthes macrocephala</i>	Pioneiro	Adaptado a solos arenosos; bom produtor de sementes com boa ressemeadura natural; capacidade de consorciação com <i>U. decumbens</i> e <i>Andropogon gayanus</i> .	Baixa retenção de folhas na seca; atualmente sem oferta de sementes no mercado.
<i>Stylosanthes spp.</i> (<i>S. capitata</i> + <i>S. macrocephala</i>)	Campo Grande	Adaptação a solos arenosos; persistência sob pastejo; ressemeadura natural; baixo preço das sementes; tolerância à antracnose alta ou média, dependendo do local de cultivo.	Baixa retenção de folhas na seca.
<i>Neonotonia wightii</i>	Clarence, Cooper, Tinaroo	Alto valor alimentício; capacidade de consorciação com gramíneas mais agressivas; boa ressemeadura natural.	Não validado em várias regiões do Cerrado; possibilidade de ser invasor em áreas de integração pecuária-lavoura; baixa oferta de sementes no mercado; baixa retenção de folhas na seca.

Tabela 3.2. Características adaptativas, pontos fortes e fracos de leguminosas tropicas em pastoreio

<i>Espécie</i>	<i>Cultivar</i>	<i>Porte e hábito de crescimento</i>	<i>Exigência fertilidade do solo (calagem e adubação)</i>	<i>Dificuldade no manejo (em consórcio)</i>	<i>Produção de sementes</i>
<i>Arachis pintoi</i>	Amarillo	Herbáceo, prostrado, estolonífero.	Média	Baixa	Média
	Belmonte	Herbáceo, prostrado, estolonífero.	Média	Baixa	Nula ou desprezível
<i>Calopogonium mucunoides</i>	Comum	Herbáceo, volúvel.	Baixa	Média	Alta
<i>Cajanus cajan</i>	Super N	Subarbusto, ereto.	Baixa	Média	Alta
<i>Leucaena leucocephala</i>	Cunningham	Arbustivo, ereto.	Alta	Alta	Alta
<i>Pueraria phaseoloides</i>	Comum	Herbáceo, volúvel.	Média-alta	Média	Alta
<i>Stylosanthes guianensis</i>	Mineirão	Herbáceo subarbustivo, ereto.	Baixa	Alta	Baixa
<i>Stylosanthes macrocephala</i>	Pioneiro	Herbáceo, ereto.	Baixa	Média	Alta
<i>Stylosanthes spp. (S. capitata + S. macrocephala)</i>	Campo Grande	Herbáceo, ereto.	Baixa	Média	Alta
<i>Neonotonia wightii</i>	Clarence, Cooper, Tinaroo	Herbáceo, volúvel.	Alta	Média	Média

Adaptado de Barcellos *et al.* (2008).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As leguminosas apresentam grande potencial de utilização para fixação de nitrogênio no solo, aumento de fertilidade e de produtividade das gramíneas. O principal desafio do consórcio está associado à baixa persistência das leguminosas nas pastagens. Considerando-se os benefícios gerados pela integração leguminosas/gramíneas ao sistema produtivo, deve-se avaliar a possibilidade da sua implementação nas propriedades como forma de fixação biológica de nitrogênio e de redução da utilização de adubos industrializados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrade, C. M. S. D., e Valentim, J. F. 1999. Adaptação, produtividade e persistência de *Arachis pintoi* submetido a diferentes níveis de sombreamento. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 28, n. 3, p. 439-445, doi: 10.1590/S1516-35981999000300001.
- Aroeira LJM, Paciullo DSC, Lopes FCF, Morenz MJF, Saliba ES, Silva JJ and Ducatti C 2005. Disponibilidade, composição bromatológica e consumo de matéria seca em pastagem consorciada de *Urochloa decumbens* com *Stylosanthes guianensis*. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 40, n. 4, p. 413-418, doi: /10.1590/S0100-204X2005000400014.
- Baath, G. S., Northup, B. K., Gowda, P. H., Turner, K. E., e Rocateli, A. C., 2018. Mothbean: a potential summer crop for the Southern Great Plains. *American Journal of Plant Sciences*. v. 9, n. 07, p. 1391.
- Barcellos, A. D. O., Ramos, A. K. B., Vilela, L., e Martha Junior, G. B. 2008. Sustentabilidade da produção animal baseada em pastagens consorciadas e no emprego de leguminosas exclusivas, na forma de banco de proteína, nos trópicos brasileiros. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 37, n. SPE, p. 51-67, doi: 10.1590/S1516-35982008001300008.
- Bloem, J.F., Trytsman, G. e Smith, H.J. 2009. Biological nitrogen fixation in resource-poor agriculture in South Africa. *Symbiosis*, v. 48, n. 1, p. 18-24, doi: 10.1007/BF03179981.
- Boddey, R. M., Macedo, R., Tarré, R. M., Ferreira, E., De Oliveira, O. C., Rezende, C. D. P., Cantarutti, R. B., Pereira, J.M., Alves, B.J.R. e Urquiaga, S. 2004. Nitrogen cycling in *Urochloa* pastures: the key to understanding the process of pasture decline. *Agriculture, Ecosystems e Environment*, v. 103, n. 2, p. 389-403, doi: 10.1016/j.agee.2003.12.010.
- Boddey, R. M., Jantalia, C. P., Macedo, M. O., Oliveira, O. C., Resende, A. S., Alves, B. J. R., e Urquiaga, S. 2006. Potential of carbon sequestration in soils of the Atlantic Forest region of Brazil. In R. Lal, C. C. Cerri, M. Bernoux, J. Etchevers, e C. E. P. Cerri (Eds.), *Carbon sequestration in soils of latin America*, p. 305-347. New York, NY: Howarth Press, doi: 10.1201/9781482298031-24.
- Boddey, R. M., Carvalho INO de., Rezende CP., Cantarutti RB., Pereira JM., Macedo R., Tarré R., Alves BJR e Urquiaga S. 2015. The benefit and contribution of legumes and biological N. *Forages in Warm Climates*, 103.
- Burton, J. W., Brim, C. A., e Rawlings, J. O. 1983. Performance of Non-Nodulating and Nodulating Soybean Isolines in Mixed Culture with Nodulating Cultivars 1. *Crop Science*, v. 23, n. 3, p. 469-473, doi: 10.2135/cropsci1983.0011183X002300030007x.
- Cadisch, G.; Imhof, H.; Urquiaga, S.; Boddey, R.M.; e Giller, K.E. 1996. Carbon turnover ($\delta^{13}C$) and nitrogen mineralization potential of particulate light soil organic matter after rainforest clearing. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 28, n. 12, p. 1555-1567, doi: 10.1016/S0038-0717(96)00264-7.
- Cantarutti, R. B., Tarré, R., Macedo, R., Cadisch, G., de Rezende, C. P., Pereira, J. M., Braga, J.M., Gomide, J. A., Ferreira, E., Alves, B. J. R., Urquiaga, S e Boddey, R.M. 2002. The effect of grazing intensity and the presence of a forage legume on nitrogen dynamics in *Urochloa* pastures in the Atlantic forest region of the south of Bahia, Brazil. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v. 64, n. 3, p. 257-271, doi: 10.1023/A:1021415915804.
- Cantarutti, R.B.; e Boddey, R.M. 1997. Transferência de nitrogênio das leguminosas para as gramíneas. In: Simpósio Internacional Sobre Produção Animal Em Pastejo. 1997, Viçosa. Anais... Viçosa: UFV, v. 1, p. 431-445.
- Cardoso, A. S., Berndt, A., Leytem, A., Alves, B. J. R., Carvalho, I. N. O., Soares, L. H. B., Urquiaga, S. e Boddey, R. M. 2016. Impact of the intensification of beef production in Brazil on greenhouse gas emissions and land use. *Agricultural Systems*, 143, p. 86-96. doi: 10.1016/j.agsy.2015.12.007.
- Carvalho, M.M. 1986. Fixação biológica como fonte de nitrogênio em pastagens. In: Simpósio Sobre Calagem E Adubação De Pastagens. Nova Odessa, SP, 1985. Anais. Piracicaba: Potafós, p. 125-143.
- Carvalho, G. G. P., e Pires, A. J. V. 2008. Leguminosas tropicais herbáceas em associação com pastagens. *Archivos de Zootecnia*, v. 57, n. 1, p. 103-113.

Casagrande, D. R., Lara, M. A. S., e Vieira, B. R. 2013. Leguminosas de Clima Tropical e Subtropical. Forragicultura, ciência, tecnologia e gestão dos recursos forrageiros, p. 137–154.

CQBAL 4.0 disponível em: https://cqbal.com.br/#!/relatorio/alimentos/?tipo_id=TIT_12. Acesso em: 25 de Jul de 2020.

de Mello, A. C., Costa, S. B., Dubeux Jr, J. C., dos Santos, M. V. , Apolinário, V. X., Tenório Filho, F., Meireles, M. S. e Pereira, C. G. 2014. Pasture characteristics and animal performance in a silvopastoral system with *Urochloa decumbens*, *Gliricidia sepium* and *Mimosa caesalpiniiifolia*. *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales*, v. 2, n. 1, p. 85-87, doi: 10.17138/tgft(2)85-87.

Dobbie, K. E., e Smith, K. A. 2001. The effects of temperature, water-filled pore space and land use on N₂O emissions from an imperfectly drained Gleysol. *Europe and Journal of Soil Science*, v. 52, n. 4, p. 667-673, doi: 10.1046/j.1365-2389.2001.00395.x.

Dos Santos, A. M. G., Junior, J. C. B. D., dos Santos, M. V. F., de Andrade Lira, M., de Oliveira Apolinário, V. X., de Miranda Costa, S. B., Coelho, D. L., Peixoto, T. V. F.R., e da Silva Santos, E. R. 2020. Animal performance in grass monoculture or silvopastures using tree legumes. *Agroforestry Systems*, v. 94, n. 2, p. 615-626.

Dubeux Jr, J. C., Blount, A. R., Mackowiak, C., Santos, E. R., Pereira Neto, J. D., Riveros, U., Garcia, L., Jaramillo, D. M. e Ruiz-Moreno, M. 2017. Biological N₂ fixation, belowground responses, and forage potential of rhizoma peanut cultivars. *Crop Science*, v. 57, n. 2, p. 1027-1038, doi: 10.2135/cropsci2016.09.0810.

Epifanio, P. S., de Pinho Costa, K. A., da Costa Severiano, E., de Souza, W. F., Teixeira, D. A. A., da Silva, J. T., e de Moura Aquino, M. 2019. Productive and nutritional characteristics of *Urochloa brizantha* cultivars intercropped with *Stylosanthes* cv. Campo Grande in different forage systems. *Crop and Pasture Science*, v. 70, n. 8, p. 718-729, doi: 10.1071/CP18447.

Gomes, F. K., Oliveira, M. D., Homem, B. G., Boddey, R. M., Bernardes, T. F., Gionbelli, M. P., Lara, M. A. S. e Casagrande, D. R. 2018. Effects of grazing management in *Brachiaria* grass-forage peanut pastures on canopy structure and forage intake. *Journal of animal science*, v. 96, n. 9, p. 3837-3849, doi: 10.1093/jas/sky236.

Grobelak, A.; Napora, A.; e Kacprzak, M. 2015. Using plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) to improve plant growth. *Ecological Engineering*, v. 84, p. 22-28, doi: 10.1016/j.ecoleng.2015.07.019.

Guenni, O., Romero, E., Guédez, Y., Bravo de Guenni, L., e Pittermann, J. 2018. Influence of low light intensity on growth and biomass allocation, leaf photosynthesis and canopy radiation interception and use in two forage species of *Centrosema* (DC.) Benth. *Grass and Forage Science*, v. 73, n. 4, p. 967-978, doi: 10.1111/gfs.12368.

Heinrichs, R., Vitti, G. C., Moreira, A., Figueiredo, P. A. M. D., Fancelli, A. L., e Corazza, E. J. 2005. Características químicas de solo e rendimento de fitomassa de adubos verdes e de grãos de milho, decorrente do cultivo consorciado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 29, n. 1, p. 71-79, doi: 10.1590/S0100-06832005000100008.

Huang, M.; Jiang, P.; Shan, S.; Gao, W.; Ma, G.; Zou, Y.; Uphoff, N. ; e Yuan, L. 2017. Higher yields of hybrid rice do not depend on nitrogen fertilization under moderate to high soil fertility conditions. *Rice*, v. 10, n. 1, p. 1-5, doi: 10.1186/s12284-017-0182-1.

Humphreys, L.R. 1991. Tropical pasture utilisation. *Cambridge University Press*, p. 206, doi: 10.1017/CBO9780511525810.

Jardim, A. M. R. F., Silva, J. R., Leite, M. L. M. V. , Teixeira, V. I., Morato, R. P., Araújo Júnior, G. N. , e Silva, T. G. F. 2018. Symbiotic interaction in forage crop cultivations: A review. *Amazonian Journal of Plant Research*, v. 2, n. 1, p. 149-160, doi: 10.26545/ajpr.2018.b00019x.

Jingura, R.M.; Sibanda, S.; e Hamudikuwanda, H. 2001. Yield and nutritive value of tropical forage legumes grown in semi-arid parts of Zimbabwe. *Tropical Grassland*, v. 35, p. 168-174.

Lascano, C. E., e Euclides, V. P. B. 1996. Nutritional quality and animal production of *Brachiaria* pastures. *Urochloa: Biology, agronomy, and improvement*.

- Lewis, G., Schire, B., Mackinder, B. e Lock, M. 2005. Legumes of the World. The Royal Botanic Gardens, Kew, p. 577.
- Manella, M. Q., Lourenço, A. J., e Leme, P. R. 2002. Recria de bovinos nelore em pastos de *Brachiaria brizantha* com suplementação protéica ou com acesso a banco de proteína de *Leucaena leucocephala*: desempenho animal. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 31, n. 6, p. 2274-2282, doi: 10.1590/S1516-35982002000900016.
- Moreira, F. M. S.; e Siqueira, J. O. 2006. Microbiologia e Bioquímica do Solo. Lavras, UFLA, p. 625.
- Muir, J. P., W. D. Pitman, J. C. Dubeux Jr, e J. L. Foster. 2014. The future of warm-season, tropical and subtropical forage legumes in sustainable pastures and rangelands. *African Journal of Range e Forage Science*. v. 31, n. 3, p. 187-198. doi: 10.2989/102201 19.2014.884165.
- Norton, B.W.; e Ahn, J.H. 1997. A comparison of fresh and dried *Calliandra calothyrsus* supplements for sheep giving a basal diet of barley straw. *Journal of Agricultural Science*, v. 129, n. 4, p. 485-494, doi: 10.1017/S0021859697004917.
- Oliveira, P. D., Kluthcouski, J., Favarin, J. L., e Santos, D. D. C. 2010. Sistema Santa Brígida-Tecnologia Embrapa: consorciação de milho com leguminosas. Embrapa Arroz e Feijão-Circular Técnica (INFOTECA-E).
- Owens, F. N. e Zinn, R. 1993. Metabolismo de proteína em ruminantes. O ruminante. Fisiologia digestiva e nutricional, p. 255–282.
- Paciullo, D. S. C., Pires, M. F. A., Aroeira, L. J. M., Morenz, M. J. F., Maurício, R. M., Gomide, C. A. M., e Silveira, S. R. 2014. Sward characteristics and performance of dairy cows in organic grass-legume pastures shaded by tropical trees. *Animal: an International Journal of Animal Bioscience*, v. 8, n. 8, p. 1264-1271, doi: 10.1017/S1751731114000767.
- Paiva AJ, Silva SC, Pereira LET, Caminha FO, Pereira PM, e Guarda VDA 2011. Morphogenesis on age categories of tillers in marandu palisadegrass. *Scientia Agricola*. v. 68, n. 6, p. 626-631, doi: 10.1590/S0103-90162011000600003.
- Peoples MB, Brockwell J, Hunt JR, Swan AD, Watson L, Hayes RC, Li GD, Hackney B, Nuttall JG, Davies SL, e Fillery IRP. 2012. Factors affecting the potential contributions of N₂ fixation by legumes in Australian pasture systems. *Crop e Pasture Science*, v. 63, n. 9, p. 759-786, doi: 10.1071/CP12123.
- Pereira, J. M., Rezende, C. D. P., Ferreira Borges, A. M., Homem, B. G. C., Casagrande, D. R., Macedo, T. M., Alves, B.J.R., Sant'Anna, S. A. C., Urquiaga, S. e Boddey, R. M. 2020. Production of beef cattle grazing on *Brachiaria brizantha* (Marandu grass)—*Arachis pinto* (forage peanut cv. Belomonte) mixtures exceeded that on grass monocultures fertilized with 120 kg N/ha. *Grass and Forage Science*, v. 75, n. 1, p. 28-36, doi: 10.1111/gfs.12463.
- Phelan, P., Moloney, A. P., McGeough, E. J., Humphreys, J., Bertilsson, J., O’Riordan, E. G., e O’Kiely, P. 2015. Forage legumes for grazing and conserving in ruminant production systems. *Critical Reviews in Plant Sciences*, v. 34, n. 1-3, p. 281-326, doi: 10.1080/07352689.2014.898455.
- Sanderson, M. A., e Wedin, W. F. 1989. Phenological stage and herbage quality relationships in temperate grasses and legumes. *Agronomy Journal*, v. 81, n. 6, p. 864-869.
- Santos, Í. P. A. D., Pinto, J. C., Siqueira, J. O., Morais, A. R. D., e Santos, C. L. D. 2002. Influência do fósforo, micorriza e nitrogênio no conteúdo de minerais de *Urochloa brizantha* e *Arachis pinto* consorciados. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 31, n. 2, p. 605-616, doi: 10.1590/S1516-35982002000300010.
- Schultze-Kraft, R., Rao, I. M., Peters, M., Clements, R. J., Bai, C., e Liu, G. 2018. Tropical forage legumes for environmental benefits: An overview. *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales*, v. 6, n. 1, p. 1-14, doi: 10.17138/TGFT(6)1-14.
- Shelton HM, Franzel S, e Peters M. 2005. Adoption of tropical legume technology around the world: analysis of success. *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales*, v. 39, p. 198–209, doi: 10.3920/978-90-8686-551-2%2020.

t Mannetje, L. 1997. Potential e prospects of legume-based pastures in the tropics [Harry Stobbs Memorial Lecture, 1994]. *Tropical Grasslands.*, v. 31, n. 2, p. 81-94.

Townsend, C., Magalhaes, J., e Pereira, R. D. A. 1997. Formação e manejo de bancos de proteína em Rondônia. Embrapa Rondônia-Recomendação Técnica.

Van Soest, P.J. 1994. Nutritional ecology of the ruminant. 2.ed. Ithaca: Cornell University Press. p. 476.

Yasuoka, J. I., Pedreira, C. G. S., Silva, V. J., Alonso, M. P., Silva, L. S., e Gomes, F. J. 2018. Canopy height and N affect herbage accumulation and the relative contribution of leaf categories to photosynthesis of grazed *Urochloa* grass pastures. *Grass and Forage Science*, v. 73, n. 1, p. 183-192. doi: 10.1111/gfs.12302

Wilson, J.R. (Ed.). 1988. Advances in Nitrogen Cycling in Agricultural Ecosystems. CAB International, Wallingford. p. 428.

CAPÍTULO 5

DESEMPENHO DE GADO DE CORTE EM SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO PECUÁRIA-FLORESTA

*Alan Figueiredo de Oliveira; Ângela Maria Quintão Lana; Lúcio Carlos Gonçalves;
Matheus Anchieta Ramirez; Pamella Grossi de Sousa; Frederico Patrus Ananias de
Assis Pires; Rafael Araújo de Menezes; Guilherme Lobato Menezes*

RESUMO

A produção de carne no país é desenvolvida principalmente em sistemas extensivos, que utilizam pastagens como a base da alimentação dos animais. Porém, o manejo inadequado dessas pastagens com a falta de manutenção da fertilidade do solo e o desajuste da carga animal levam à alta ocorrência de pastagens degradadas no país. Esses sistemas geralmente apresentam baixos índices produtivos e prejudicam os indicadores ambientais nacionais. Assim, os sistemas integrados de produção animal caracterizam-se como alternativas para recuperação dessas pastagens degradadas e podem melhorar os parâmetros produtivos dos sistemas que utilizam pastagens. A literatura demonstra de forma clara os benefícios da integração pecuária-floresta (IPF) no componente animal, como a melhoria do conforto e do bem-estar animal, do valor nutritivo das pastagens e dos índices reprodutivos e da saúde animal. Entretanto, pouca ênfase tem sido dada ao desempenho animal nesses sistemas, que, de modo geral, é reduzido pelo adensamento das árvores e pela menor produção de forragem. Além da menor produção de forragem, a estrutura do pasto também é modificada com o aumento de colmo e da altura e a redução da densidade. Essas alterações podem prejudicar a dinâmica de pastejo e o desempenho animal. Dessa forma, é necessário avaliar conjuntamente como a IPF impacta a produção animal e a lucratividade das propriedades antes de se decidir qual a melhor configuração entre os componentes arbóreo, forrageiro e animal que serão implementados.

INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas afetam a produção animal de diversas maneiras, com menores precipitações pluviométricas e produções de alimentos em certas regiões, aumentos na temperatura ambiental e no estresse calórico e até com morte de animais em

eventos de ondas de calor (Nardone *et al.*, 2010). A produção de carne no Brasil, ao longo das últimas décadas, vem sendo considerada como uma das causadoras do efeito estufa devido aos baixos índices produtivos, à alta emissão de metano por arroba produzida e ao baixo estoque de carbono no solo ocupado por pastagens degradadas. Dessa forma, são necessários o desenvolvimento e a implementação de sistemas que sejam mais sustentáveis e capazes de melhorar a eficiência da agropecuária nacional.

A produção de carne no Brasil é realizada predominantemente em sistemas que utilizam pastagens. As condições edafoclimáticas do país possibilitam a produção de alto volume de forragem no verão, que pode ser diretamente utilizada ou reservada para uso no inverno. Esses sistemas apresentam a vantagem de produzir carne a um menor custo que os sistemas que utilizam o confinamento. Porém, a maioria das propriedades que usam pastagens, utilizam altas cargas animais e não realizam adubações de manutenção adequadas, o que pode gerar baixo desempenho animal e degradação das pastagens (Dias-Filho, 2014). Assim, a IPF é uma alternativa para recuperação dessas pastagens e para melhoria da produção animal nessas áreas.

A IPF é um sistema que propicia a recuperação da produtividade das pastagens degradadas. O aumento dos estoques de carbono nas árvores e no solo e a menor emissão relativa de metano pelos animais criados em sistemas mais intensivos possibilitam a redução do efeito negativo da pecuária no efeito estufa. Outro benefício do sistema é o aumento do conforto e do bem-estar animal, que melhoram a eficiência produtiva dos animais e a imagem da pecuária brasileira no cenário mundial (Almeida *et al.*, 2013).

A presença das árvores no sistema reduz a radiação que atinge as pastagens e pode reduzir as suas produções. A IPF com alta densidade de árvores afeta negativamente a capacidade de suporte e o ganho de peso dos animais. Dessa forma, o desempenho animal deve ser monitorado nesses sistemas para que a sombra das árvores não afete, de modo acentuado, o desempenho animal. Outro problema desses sistemas é a alteração das características das pastagens, que se apresentam mais altas, menos densas e com mais colmos. Assim, os animais têm pior dinâmica de pastejo e dispendem mais tempo se deslocando em busca de forragem.

A literatura acerca do desempenho animal nesses sistemas tende a enfatizar os pontos positivos, como a melhoria do bem-estar animal, e a minimizar os pontos negativos, como a redução da produção animal. Portanto, é necessário avaliá-la de forma crítica, considerando as variáveis que envolvem o sistema, a fim de estabelecer uma análise que forneça informações relevantes para produtores e profissionais que irão

implementar esses sistemas em propriedades rurais. Neste capítulo, objetivou-se avaliar a literatura acerca do desempenho de gado de corte em sistemas de integração pecuária-floresta.

GANHOS DE PESO INDIVIDUAL E POR ÁREA EM SISTEMAS DE IPF

Os sistemas integrados de produção animal são dispersos pelo Brasil respeitando-se as peculiaridades locais, a disponibilidade de recursos e de espécies e as características culturais regionais. Exemplo dessa diversificação pode ser visto na produção de leite em Minas Gerais, na produção de carne bovina no Centro-oeste e nas produções de caprino e de ovino na região Sul do país, em diferentes arranjos de IPF (Almeida *et al.*, 2013).

A produção animal em pastagens nos primeiros anos do crescimento das árvores geralmente é semelhante entre a IPF e o pleno sol. Porém, com o avanço da idade das árvores e a redução da radiação que atinge o pasto, as produções de forragem e animal podem ser drasticamente reduzidas. Por outro lado, a proteção dos animais contra as altas temperaturas e os ventos pode melhorar o conforto animal e reduzir os efeitos negativos da menor produção de forragem (Neel e Belesky, 2017).

Santos *et al.* (2018) avaliaram o desempenho animal em pastagens de *Urochloa brizantha* cv. Piatã em pleno sol e em IPF formada por eucalipto com 12 ou 22 m entre renques. O ganho de peso médio diário (GMD) não variou entre os sistemas devido ao ajuste da oferta de forragem. Entretanto, a capacidade de suporte e a produção animal por área reduziram ($p < 0,05$) nos sistemas de IPF (Tabela 1). A menor oferta de forragem e o menor ganho de peso dos animais nas áreas sombreadas também podem gerar menores receitas, o que pode prejudicar a sustentabilidade econômica desses sistemas.

Tabela 1. Capacidade de suporte (CS), ganho médio diário (GMD), ganho de peso vivo por hectare (GPVH) e disponibilidade de forragem no verão (DFV) e no inverno (DFI) do capim-piatã em pleno sol e em IPF com 22 m (SSP 22) e 12 m (SSP12) entre renques

Tratamento	CS (UA/ha)	GMD (g/animal/dia)	GPVH (kg/ha)	DFV (kg/ha)	DFI (kg/ha)
Pleno sol	2,5a	492,0a	640,0a	3.557,0a	3.940,0a
SSP22	1,4b	448,0a	379,0b	2.061,0b	2.174,0b
SSP12	1,3b	474,0a	243,0c	1.882,0c	1.639,0b

Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Fonte: Adaptado de Santos *et al.* (2018).

Oliveira *et al.* (2014) avaliaram o desempenho animal em pastagem de *U. brizantha* cv. Piatã em pleno sol e em IPF com 14 ou 22 m entre renques, manejada com

duas alturas de pastejo. Não houve diferença ($p > 0,05$) no GMD dos animais entre os tratamentos. Entretanto, a capacidade de suporte foi menor durante todo o ano na IPF com 14 m em relação aos demais tratamentos e menor no outono na IPF com 22 m em comparação ao pleno sol. O ganho de peso vivo por hectare em cada estação foi menor ($p < 0,05$) na IPF com 14 m e semelhante entre o pleno sol e a IPF com 22 m. Porém, o ganho de peso total durante o ano foi de 537 kg/ha (17,9 @ de PV) no pleno sol, de 459 kg/ha (15,3 @ de PV) na IPF com 22 m e de 334 kg/ha (11,1 @ de PV) na IPF com 12 m, reduções de 14,5 e de 37,8%. O maior ganho nas áreas em pleno sol deve-se à maior disponibilidade de forragem nesses sistemas. Segundo os autores, a IPF com espaçamentos intermediários possibilita bom desempenho animal e a renda com o eucalipto melhora a rentabilidade final e o tempo de retorno do sistema.

Gamarra *et al.* (2017) utilizaram os mesmos espaçamentos de 14 e de 22 m entre renques na IPF com *U. brizantha* cv. Piatã e encontraram maior capacidade de suporte no pleno sol em relação à IPF com 14 m entre renques. Porém, a capacidade de suporte foi semelhante na IPF com 22 m entre renques no verão e no inverno e menor no outono em relação ao pleno sol. O ganho de peso por hectare em cada estação no pleno sol foi semelhante à IPF com 22 m e superior à IPF com 14 m. O ganho de peso total por hectare foi de 445 kg/ha no pleno sol, de 370 kg/ha na IPF com 22 m e de 240 kg/ha na IPF com 14 m. Segundo os autores, a menor produção animal na IPF com sistema mais adensado ocorreu devido à menor oferta de forragem. No entanto, o sistema de IPF com 22 m foi superior aos demais quando se avaliam os sistemas de uma forma mais ampla. Embora a produção animal seja um pouco menor, outros fatores, como a produção de madeira, o melhor conforto animal, o maior estoque de carbono e a melhor saúde dos animais, fazem com que a IPF seja mais valorizada pela cadeia produtiva.

Domiciano *et al.* (2016) avaliaram o desempenho produtivo de novilhos Nelore de 344 kg de peso vivo (PV) em pastagem de *U. brizantha* em sistema tradicional, em integração lavoura-pecuária (ILP) em sucessão soja-milho e em IPF com eucalipto em linhas triplas com 3 m entre árvores, 3,5 m entre linhas e 30 m entre renques. O GMD foi maior na ILP (747 g PV/dia) em relação à IPF (518 g PV/dia) e semelhante à pastagem tradicional (630 g PV/dia). O ganho por área foi maior na ILP (99,9 kg PV/ha) em relação à pastagem tradicional (69,9 kg PV/ha) e à IPF (59,1 kg PV/ha). A maior produção animal em ILP em relação à pastagem tradicional ocorreu devido à sucessão do pasto em área de lavoura e à utilização de fertilizantes residuais da lavoura. A menor produção na IPF

ocorreu devido ao maior sombreamento e à menor produção e disponibilidade de forragem para os animais.

Paciullo *et al.* (2009) não encontraram diferença ($p > 0,05$) no ganho de peso de novilhas mestiças Holandês x Zebu (1/2, 3/4 e 7/8) em pastagem de *U. decumbens* cv. Basilisk em monocultivo ou em IPF com a leguminosa *Stylosanthes guianensis* cv. Mineirão e quatro espécies de árvores com 30 m entre renques. A igualdade de ganho de peso entre os tratamentos foi atribuída à igualdade de produção de forragem entre os sistemas. Os ganhos médios diários dos dois sistemas foram de 242 e de 625 g por dia por novilha nas épocas seca e chuvosa. Os autores ressaltam que o GMD na época chuvosa é capaz de gerar bom crescimento ponderal e garantir precocidade à primeira cobertura e ao primeiro parto. Porém, a baixa oferta de forragem no período da seca reduz o GMD e exige estratégias de manejo e de suplementação para manter elevados ganhos durante todo o ano.

Desempenho animal semelhante em pleno sol e em sistemas arborizados com a utilização de 30 m entre renques também foi observado por Magalhães *et al.* (2018). Esses resultados demonstram que, quando o objetivo do sistema é manter a máxima produção animal na área, deve-se utilizar espaçamentos sempre superiores a 30 m. Além disso, quando o plantio é realizado na direção norte-sul, o espaçamento entre renques precisa ser ainda maior para não prejudicar o desempenho animal.

Kallenbach *et al.* (2005) não encontraram diferença no GMD e no ganho por área em novilhas de corte em pastagem de azevém e de centeio em pleno sol ou em IPF com pinus e noz-preta. Segundo os autores, o porte ainda baixo das árvores e o baixo sombreamento da pastagem foram responsáveis pelo bom desempenho na IPF.

Comportamento semelhante foi observado por Porfírio-da-Silva (2012), que avaliou o desempenho animal de bezerros Purunã em ILP e em integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) com três anos de formação com eucalipto, aroeira e grevílea e pastagem de inverno com azevém e aveia. O autor não encontrou diferenças no GMD (0,86 kg/ha/dia) e no ganho de peso por área (440,6 kg/ha). Essa igualdade entre os sistemas pode ser associada ao estágio inicial de desenvolvimento das árvores e ao menor padrão de crescimento da aroeira e da grevílea, fato que pode reduzir o sombreamento na área e manter a produção similar da forragem.

Na mesma área experimental, porém com maior desenvolvimento das árvores, Pontes *et al.* (2018) avaliaram o desempenho de novilhas Purunã (1/4 Aberdeen Angus, 1/4 Canchim, 1/4 Caracu e 1/4 Charolês) com PV médio de 250 kg em pastagem de azevém e

de aveia no inverno em ILP e em IPF com eucalipto com três metros entre árvores e 14 m entre renques submetidas a 90 ou a 180 kg de nitrogênio por hectare. A capacidade de suporte foi superior ($p < 0,05$) na ILP (2,35 UA/ha) em comparação à IPF (1,85 UA/ha). O GMD foi superior na ILP (909,5 g animal/dia) em comparação à IPF (615,5 g animal/dia), uma redução de 32,33%. O ganho diário por hectare também foi superior na ILP (3,65 kg PV/ha/dia) em relação à IPF (1,95 kg PV/ha/dia), uma redução média de 46,58%.

Segundo os autores, a redução da radiação causada pela sombra das árvores foi responsável pela drástica diminuição na produtividade do pasto e no desempenho animal. Dessa forma, é necessário lançar mão de manejos, como desrama e desbaste das árvores, a fim de manter a produtividade da pastagem para o provimento de adequada massa de forragem para os animais e para o plantio direto em áreas de integração com lavoura. Além disso, a produção de 837 kg ha⁻¹ de matéria seca foi considerada aquém da necessidade de palhada para cobertura do solo e realização de um bom plantio direto na próxima safra, fato que pode comprometer a *performance* em longo prazo das operações de plantio direto.

Em algumas ocasiões, devido ao melhor conforto térmico, principalmente em regiões tropicais, o ganho de peso diário pode ser maior no sistema de IPF em relação ao monocultivo. Pérez *et al.* (2008) encontraram GMD de 0,486 kg em bovinos (Suíço x Zebu) machos de 157 kg PV em IPF e de 0,369 kg em monocultivo. Segundo os autores, o melhor desempenho foi influenciado pelo melhor microclima local e pelo maior tempo de pastejo em momentos mais quentes. Porém, em áreas de IPF é sempre necessário avaliar o ganho de peso por área devido à redução da capacidade de suporte e da produtividade dos pastos.

Resultados semelhantes foram encontrados por Vega *et al.* (2013), que encontraram menor ganho de peso individual e por área em novilhas Charolês em pastagem solteira de *Cynodon nlemfuensis* em comparação à IPF com *Leucaena leucocephala* e *Cynodon nlemfuensis*. De acordo com os autores, o melhor desempenho na IPF ocorreu pelo maior conforto térmico e pela maior produção total de forragem na área de IPF quando se soma a produção de forragem das árvores à do pasto. Porém, a avaliação foi de apenas um ano e a preferência animal em pastejar a espécie leguminosa arbórea pode comprometer a persistência desse componente do sistema.

COMPORTAMENTO INGESTIVO DOS ANIMAIS EM PASTAGENS EM IPF

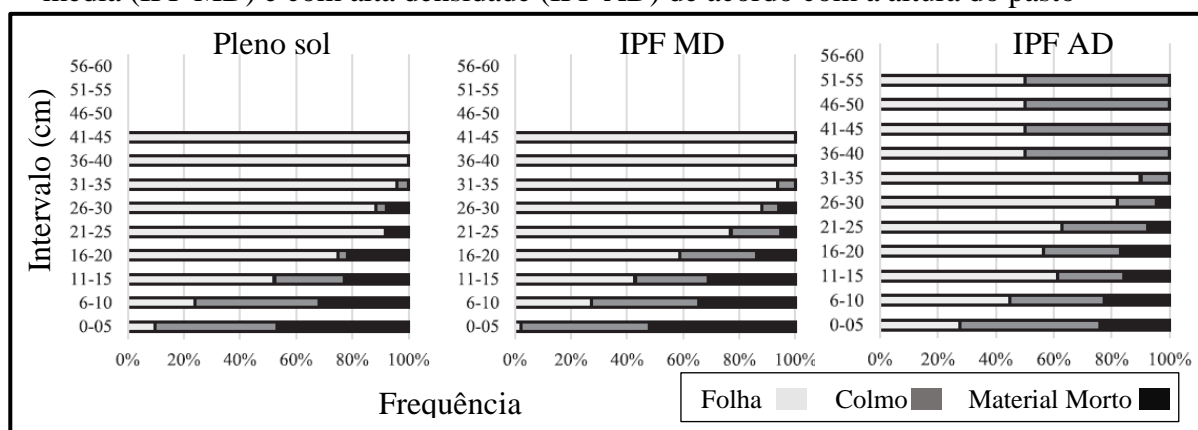
O consumo de matéria seca (CMS) é um dos principais fatores que afeta o desempenho animal e está diretamente ligado à oferta de alimento, à qualidade do alimento e a variáveis dos animais, como conforto térmico e ausência de enfermidades. Em áreas de IPF com arranjos adensados, há menor produção de forragem e, caso não se ajuste a taxa de lotação do pasto, o CMS dos animais pode ser prejudicado. Dessa forma, é importante planejar os sistemas com maiores espaçamentos entre renques e ajustar a oferta de forragem com o objetivo de manter o adequado consumo dos animais.

Paciullo *et al.* (2009) não encontraram diferença ($p > 0,05$) no consumo de matéria seca em novilhas mestiças Holandês x Zebu em pastagem de *U. decumbens* em monocultivo ou em IPF com a leguminosa *Stylosanthes guianensis* cv. Mineirão e quatro espécies de árvores com 30 m entre renques. Entretanto, o CMS foi menor nos meses de julho e setembro em comparação a março, maio, outubro e dezembro em razão da sazonalidade da produção de forragem, o que reduziu a oferta de forragem no inverno.

Karki e Goodman (2010) avaliaram o comportamento de vacas de corte adultas em pleno sol ou em IPF com 247 árvores/ha de *Pinus taeda* e observaram que os animais gastaram de 50 a 63% do tempo diurno em atividade de pastejo na IPF e de 26 a 40% do tempo diurno em atividade de pastejo no pleno sol. Segundo os autores, esse maior tempo em pastejo é um indicativo de maior conforto térmico no sistema sombreado. No entanto, esse maior tempo em pastejo pode ocorrer devido à menor oferta de forragem e à pior estrutura do pasto na IPF.

Geremia *et al.* (2018) analisaram o comportamento ingestivo de bovinos em pastagens de *U. brizantha* cv. Piatã em pleno sol e em IPF com média densidade (eucalipto com 53 m entre renques) e IPF com alta densidade (eucalipto com 15 m entre renques). A altura do pasto e o intervalo de pastejo foram maiores na IPF com alta densidade. Além disso, a taxa de consumo e a massa do bocado foram menores e a taxa de bocado foi maior na IPF com alta densidade arbórea. De acordo com os autores, no pleno sol e na IPF com média densidade, o extrato superior do pasto era composto principalmente por folhas, e o inferior por colmo e material morto. Já na IPF com alta densidade, havia colmo e material morto no extrato superior do pasto (Figura 1). Portanto, a melhor estrutura do pasto nos sistemas com menos sombra permite melhor dinâmica de pastejo dos animais.

Figura 1. Composição estrutural da *U. brizantha* cv. Piatã em pleno sol, em IPF com média (IPF MD) e com alta densidade (IPF AD) de acordo com a altura do pasto



Fonte: Adaptado de Geremia *et al.* (2018).

Segundo Benvenuti *et al.* (2009), a altura do pasto, a proporção de colmo e a resistência tênsil do colmo determinam a eficiência de pastejo de ruminantes em pastagens tropicais. De forma geral, a taxa de consumo de nutrientes das pastagens é reduzida com o aumento da densidade, a altura e a resistência do colmo. Santos *et al.* (2018) encontraram GMD semelhante em bovinos em pleno sol ou em IPF, porém os autores ressaltaram que os animais provavelmente mudaram o comportamento ingestivo porque eles precisam de um número maior de bocado para alcançar a mesma quantidade de forragem consumida. Essa alteração se deve à menor densidade e ao menor número de perfilhos das pastagens em sistemas sombreados.

Em estudo realizado no centro-oeste brasileiro, Oliveira *et al.* (2014) avaliaram a *U. brizantha* cv. Piatã em pleno sol e em IPF com baixa e com alta altura de pastejo. A capacidade de suporte e o ganho por área foram maiores com a menor altura de pastejo, principalmente no verão (Tabela 2). Essa variação provavelmente ocorreu pela maior oferta de folhas e pelo maior valor nutritivo da forragem com estrutura mais baixa do pasto. Dessa forma, é necessário ter atenção ao manejo do pasto, buscando-se o pastejo com alturas menores, e atuar na manutenção da fertilidade do solo por meio de adubações.

Pérez *et al.* (2008) analisaram o comportamento ingestivo de animais (Suíço x Zebu) em pleno sol e em IPF. Os animais permaneceram mais tempo em pastejo nas horas mais quentes do dia no sistema de IPF em relação ao pleno sol. Segundo os autores, a melhoria do conforto dos animais contribuiu para o melhor ganho de peso nessas áreas. Porém, é necessário ter cautela na inserção de árvores em pastagens para não reduzir a produtividade do pasto e o ganho de peso total por área. Dessa forma, deseja-se sombra

suficiente para melhorar o ambiente para os animais, mas de forma que essa sombra não seja prejudicial à produtividade do pasto.

Tabela 2. Efeitos da estação do ano e da altura do pasto no ganho de peso vivo por hectare e na capacidade de suporte de pasto de *U. brizantha* cv. Piatã

Estação	Altura (27 cm)	Altura (39 cm)	Altura (27 cm)	Altura (39 cm)
	Ganho por hectare (kg PV/ha)		Capacidade de suporte (UA/ha)	
Inverno	31,0Da	28,0Da	0,9Ca	0,9Ba
Primavera	62,0Ca	58,0Ca	1,0Ca	1,0Ba
Verão	220,0Aa	191,0Ab	1,4Ba	1,1Bb
Outono	180,0Ba	113,0Bb	2,4Aa	1,6Ab

Médias seguidas de letras distintas, maiúscula na coluna e minúscula na linha, diferem entre si ($p < 0,05$). Fonte: Adaptado de Oliveira *et al.* (2014).

Os animais na IPF permaneceram mais tempo em pastejo em relação ao pleno sol (10,7 vs. 10,2 h), ruminaram menos (7,8 vs. 8,6 h), descansaram menos (4,07 vs. 4,36 h) e caminharam mais (0,6 vs. 0,3 h). Conforme os autores, o maior tempo em pastejo ocorreu pelo maior conforto térmico dos animais durante o dia, fato que permite maior consumo e seleção de alimentos com maior valor nutritivo. Entretanto, o maior tempo caminhando e menores tempos descansando e ruminando podem ser indicativos de que a estrutura do pasto na IPF era pior que a no pleno sol. Essa pior estrutura pode resultar em maior tempo em pastejo para atingir o consumo desejado, menor massa de bocado e maior taxa de bocado. Portanto, é necessário ter cautela ao analisar o comportamento dos animais e ao considerar outros fatores, além do conforto térmico, nessas áreas.

Baliscei *et al.* (2012) avaliaram o comportamento de novilhas Nelore em pastagens em pleno sol e em IPF e os animais passaram mais tempo pastejando no inverno (43,6%) em relação ao verão (37,1%). O tempo em ruminação em estação foi maior no inverno e o tempo em ócio em estação foi maior no verão. Segundo os autores, os animais no verão sofrem mais com os efeitos negativos do estresse térmico e, por isso, permanecem menos tempo pastejando e mais tempo em ócio em estação, que é um comportamento para aumentar a perda de calor por convecção.

No verão, os animais passaram mais ($p < 0,05$) tempo ruminando em estação na IPF (9,4%) em relação ao pleno sol (6,2%). O tempo de ócio em estação também foi maior na IPF (20,1%) em relação ao pleno sol (8,8%). Esse comportamento demonstra como a presença do componente arbóreo melhora o conforto do animal, que passa mais tempo ruminando e em ócio. Resultados semelhantes foram encontrados por Souza *et al.*

(2010), que observaram mais tempo pastejando no período da tarde e mais tempo em ócio nos animais em IPF em comparação ao pleno sol.

CONFORTO TÉRMICO ANIMAL EM SISTEMAS DE IPF

Em regiões tropicais como há no Brasil, os animais criados em sistemas baseados em pastagens sofrem com as altas temperaturas e umidades, principalmente no verão. Os animais criados nessas condições sofrem os efeitos do calor e entram em estado de estresse térmico. Dessa forma, o fornecimento de sombra é uma importante estratégia para melhorar o conforto e o bem-estar animal e mitigar os efeitos negativos que o estresse calórico causa na produção.

Oliveira *et al.* (2019) avaliaram indicadores de conforto térmico em novilhas Nelore em um pasto controle (cinco árvores nativas) e em IPF com 14 m entre renques e com 22 m entre renques. Durante o inverno, as menores temperaturas do ar foram 23,8, 23,4 e 23,7 °C, as temperaturas em globo negro foram 25,2, 23,7 e 23,8 °C, as umidades relativas do ar foram 59,9, 58,9 e 59,2% e os índices de temperatura-umidade (ITU) foram 72,0, 70,2 e 70,4 na IPF com 14 m, na IPF com 22 m e no pleno sol, respectivamente. No verão, as menores temperaturas do ar foram 27,8, 27,8 e 27,4 °C, as temperaturas em globo negro foram 28,4, 28,7 e 28,6 °C, as umidades relativas do ar foram 71,6, 70,8 e 72,7% e os ITU foram 77,7, 78,0 e 77,9 na IPF com 14 m, na IPF com 22 m e no pleno sol, respectivamente.

Nesse trabalho, o melhor conforto térmico foi alcançado com a intensidade média de árvores, provavelmente devido à maior umidade no ambiente com alta densidade de árvores, o que dificulta a dissipação de calor. A temperatura vaginal aumentou duas horas depois do aumento da temperatura em globo negro. Portanto, as alterações nos ambientes sombreados nem sempre são acompanhados de melhoria no conforto térmico.

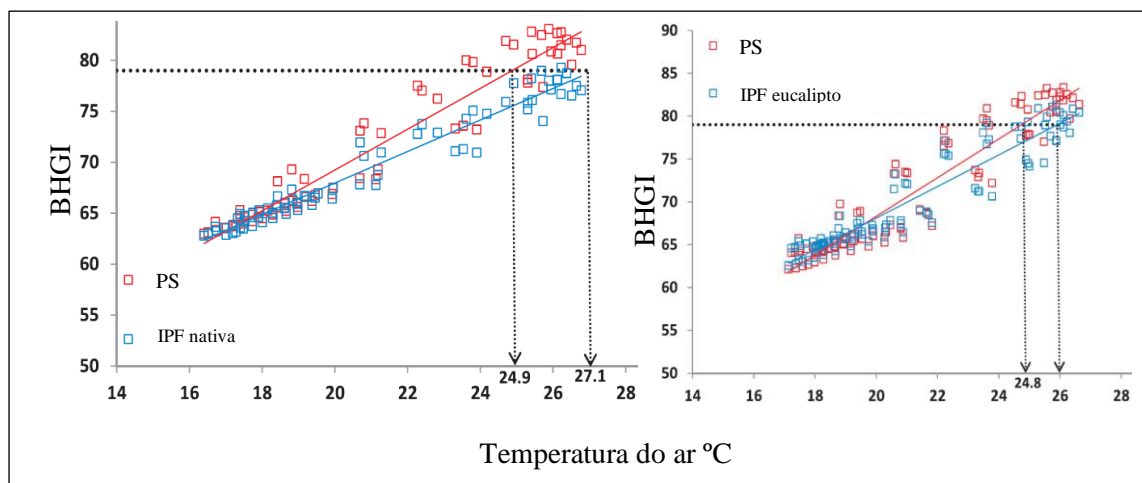
Variações maiores nos indicadores de conforto térmico foram encontradas por Silva *et al.* (2010) entre o pleno sol e o local sob as copas das árvores ou nas entrelinhas da IPF com 100 árvores por hectare de *Acacia holosericea*. A temperatura em globo negro foi menor ($p>0,05$) sob as copas das árvores (31,1 °C) em relação às entrelinhas (34,0 °C) e ao pleno sol (35,5 °C). O ITU foi de 75,9 sob as copas das árvores, de 76,9 nas entrelinhas e de 77,6 no pleno sol. A carga térmica radiante foi de 532,8 W/m² sob as copas das árvores, de 679,4 W/m² nas entrelinhas e de 670,9 W/m² no pleno sol.

A melhoria do conforto térmico em regiões tropicais tem a função de aumentar o bem-estar animal e maximizar os resultados produtivos. A arborização das pastagens nos

sistemas de IPF é uma alternativa para reduzir a temperatura ambiente e o ITU. Dessa forma, os animais criados com maior conforto apresentam melhores índices reprodutivos, melhor resposta imunológica aos desafios sanitários, maior consumo de alimento, maior ganho de PV e maior eficiência alimentar.

Pezzopane *et al.* (2019) avaliaram o conforto térmico em um sistema de IPF com árvores nativas com 17 m entre renques e orientação norte-sul, em um sistema de IPF com eucalipto com 15 m entre renques, e orientação leste-oeste e no pleno sol. O número de horas com índice de temperatura em globo negro e umidade (ITGU) acima de 79 (limite para estresse térmico) foi menor na IPF com árvores nativas (2,9 h) em comparação com a IPF com eucalipto (4,6 h) (Figura 2) e ao pleno sol (5,2 h). Comportamento semelhante foi encontrado para a carga térmica radiante. O melhor conforto térmico no sistema com árvores nativas foi associado à orientação de plantio e à morfologia das árvores. O plantio no sentido norte-sul gerou mais áreas de sombra sob as árvores e no meio do renque em comparação ao plantio no sentido leste-oeste. Além disso, as árvores nativas apresentaram copas mais abertas e maiores e geraram mais sombra.

Figura 2. Relação entre temperatura do ar e BGHI no pleno sol (PS) e na IPF com árvore nativa e eucalipto



Fonte: Adaptado de Pezzopane *et al.* (2019).

Os autores reforçaram a importância da sombra para maior conforto térmico dos animais e a melhoria que esse conforto pode gerar na produção e no desempenho desses animais. Entretanto, é necessário considerar a redução da produção das forragens, que pode prejudicar o desempenho econômico. Dessa forma, a redução da densidade das árvores com diminuição do sombreamento é um manejo relevante nesses sistemas.

Karvatte-Júnior *et al.* (2016) avaliaram indicadores de conforto térmico em IPF com eucalipto com alta densidade (357 árvores/ha), em IPF com eucalipto com baixa densidade (227 árvores/ha) e em IPF com árvores nativas (5 árvores/ha). Em todos os sistemas, o conforto foi melhor na sombra em relação à posição sem sombra, fato que demonstra mudanças microclimáticas benéficas para os animais no ambiente sombreado. O sistema com baixa densidade de eucalipto e com árvores nativas proveu melhores condições ambientais em relação ao sistema com alta densidade. Essa diferença na IPF com menos árvores foi atribuída à melhor circulação de ventos, às reduções da temperatura do ar, do ITU e da umidade, fatores que melhoram o bem-estar animal. Entretanto, o baixo número de árvores na IPF com árvores nativas pode ser insuficiente para prover sombra para todos os animais nesse sistema.

Navarini *et al.* (2009) encontraram temperaturas médias na superfície corporal de novilhas Nelore de 34,3 °C na IPF com árvores de guajuvira (*Patagonula americana*) em pequenos bosques, de 34,7 °C na IPF com árvores de goiabeira (*Psidium guajava*) e laranjeira (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck), em plantas individualizadas, e de 35,2 °C no pleno sol. Moraes Júnior *et al.* (2010) avaliaram variáveis fisiológicas em bezerros búfalos em dois sistemas de IPF com 18 a 22% de sombreamento e com 8% de sombreamento. A temperatura retal, a frequência respiratória e a temperatura da pele foram semelhantes entre os sistemas. Segundo os autores, a temperatura da pele ficou abaixo da considerada normal, fato que indica que o fornecimento de sombra pelos sistemas silvipastoris é eficiente na manutenção da homeotermia.

Em situações de temperaturas extremas, o sombreamento em sistemas de IPF é uma ferramenta importante para atenuar o desconforto animal, principalmente nas horas mais quentes do dia no verão. Baliscei *et al.* (2012) encontraram temperatura máxima 6,4 °C maior no pleno sol (47,3 °C) em relação à IPF (40,7 °C). Dessa forma, o sombreamento na IPF reduziu o ITU em 6,8 na IPF (98,6) em relação ao pleno sol (91,8). Portanto, o sombreamento atenua os danos causados pelo estresse térmico principalmente em regiões onde as temperaturas são muito altas no verão.

Oliveira *et al.* (2017) avaliaram o ITU e o ITGU em IPF com alta e com baixa densidade de árvores e em pleno sol. O ITU foi maior ($p < 0,05$) no pleno sol ao longo do dia, com 76,4, em relação à IPF, com 74,9. O ITGU foi maior no pleno sol, com 80,4, em relação à IPF com baixa densidade, com 78,6, e a IPF com alta densidade, com 77,0. De acordo com os autores, atenção especial deve ser dada à redução da velocidade dos ventos

e ao aumento da temperatura em sistemas florestais muito adensados que podem ser desconfortáveis para os animais.

Os menores índices nos sistemas de IPF mais adensados indicam melhor conforto térmico para os animais nesses sistemas. Entretanto, a interação entre os componentes do sistema, principalmente árvore e pastagem, pode reduzir a produtividade animal na área e comprometer a produtividade do sistema. Portanto, é necessário planejar os sistemas, de forma a balancear o oferecimento de sombra aos animais e promover o bem-estar animal, bem como manter a produtividade do sistema.

Giro *et al.* (2019) não encontraram diferença ($p>0,05$) no ITU entre um sistema de IPF e o pleno sol. Porém, o ITU foi maior que 74 (desconforto térmico) apenas em janeiro e março. O ITGU foi menor na área sombreada, principalmente pela manhã. Esse fato pode indicar menor exposição ao estresse térmico, menor ganho de calor exógeno e menor gasto de energia para o processo de termólise. No entanto, segundo os autores, a pouca diferença entre os tratamentos se deve ao arranjo adotado com baixa densidade e à movimentação diária e sazonal do sol, que reduziram a formação de sombra concentrada em locais específicos. Outro aspecto relevante citado pelos autores refere-se à maior umidade e à menor velocidade dos ventos em áreas de IPF. Esses fatores, juntos, podem dificultar a perda de calor do animal para o ambiente.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A produção de animais com aptidão para produção de carne no Brasil é desenvolvida majoritariamente em sistemas que utilizam pastagens. Devido ao manejo inadequado dessas pastagens, o processo de degradação pode comprometer a produtividade desses pastos e dos animais criados nessas áreas. A IPF é uma alternativa para recuperação dessas pastagens e possibilita maior conforto e bem-estar animal. Porém, o adensamento das árvores pode reduzir a produção animal e prejudicar o desempenho econômico desses sistemas. Portanto, é necessário avaliar, de forma crítica, os dados da literatura e as condições edafoclimáticas locais acerca do desempenho animal nessas áreas, a fim de se estabelecer um planejamento adequado que possibilite a produção animal sustentável e a manutenção da lucratividade do sistema.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, R. G.; Andrade, C. M. S.; Paciullo, D. S.; Fernandes, P. C.; Cavalcante, A. C. R.; Barbosa, R. A.; Valle, C. B. 2013. Brazilian agroforestry systems for cattle and sheep. *Tropical Grasslands*, v. 1, p. 175–183.
- Baliscei, M. A.; Souza, W. D.; Barbosa, O. R.; Cecato, U.; Krutzmann, A.; Queiroz, E. D. O. 2012. Behavior of beef cattle and the microclimate with and without shade. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, v. 34, n. 4, p. 409-415, doi: 10.4025/actascianimsci.v34i4.15055.
- Benvenuti, M. A.; Gordon, I. J.; Poppi, D. P.; Crowther, R.; Spinks, W.; Moreno, F. C. 2009. The horizontal barrier effect of stems on the foraging behaviour of cattle grazing five tropical grasses. *Livestock Science*, v. 126, n. 1, p. 229-238, doi: 10.1016/j.livsci.2009.07.006.
- Dias-filho, M. B. 2014. Diagnóstico das pastagens no Brasil. Embrapa Amazônia Oriental-Documentos (INFOTECA-E).
- Domiciano, L. F.; Mombach, M. A.; Carvalho, P.; Silva, N. M. F.; Pereira, D. H.; Cabral, L. S.; Lopes, L. B.; Pedreira, B. C. 2016. Performance and behaviour of Nellore steers on integrated systems. *Animal Production Science*, v. 58, n. 5, p. 920-929, doi: 10.1071/AN16351.
- Gamarra, É. L.; Morais, M. G.; Almeida, R. G.; Paludetto, N. A.; Pereira, M.; Oliveira, C. C. 2017. Beef cattle production in established integrated systems. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 38, n. 5, p. 3241-3251, doi: 0.5433/1679-0359.2017v38n5p3241.
- Geremia, E. V.; Crestani, S.; Mascheroni, J. D. C.; Carnevalli, R. A.; Mourão, G. B.; Silva, S. C. 2018. Sward structure and herbage intake of *Brachiaria brizantha* cv. Piatã in a crop-livestock-forestry integration area. *Livestock Science*, v. 212, p. 83-92.
- Giro, A.; Pezzopane, J. R. M.; Junior, W. B.; Pedroso, A. F.; Lemes, A. P.; Botta, D.; Romanello, N.; Barreto, A. N.; Garcia, A. R. 2019. Behavior and body surface temperature of beef cattle in integrated crop-livestock systems with or without tree shading. *Science of The Total Environment*, v. 684, p. 587-596, doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.05.377.
- Kallenbach, R. L.; Kerley, M. S.; Bishop-Hurley, G. J. 2005. Cumulative forage production, forage quality and livestock performance from an annual ryegrass and cereal rye mixture in a pine walnut silvopasture. *Agroforestry Systems*, v. 66, n. 1, p. 43-53, doi: 10.1007/s10457-005-6640-6.
- Karki, U.; Goodman, M. S. 2010. Cattle distribution and behavior in southern-pine silvopasture versus open-pasture. *Agroforestry systems*, v. 78, n. 2, p.159-168, doi: 10.1007/s10457-009-9250-x.
- Karvate-Júnior, N.; Klosowski, E. S.; Almeida, R. G.; Mesquita, E. E.; Oliveira, C. C.; Alves, F. V. 2016. Shading effect on microclimate and thermal comfort indexes in integrated crop-livestock-forest systems in the Brazilian Midwest. *International journal of biometeorology*, v. 60, n. 12, p. 1933-1941, doi: 10.1007/s00484-016-1180-5.
- Magalhães, C. A. S.; Pedreira, B. C.; Tonini, H.; Farias Neto, A. L. 2018. Crop, livestock and forestry performance assessment under different production systems in the north of Mato Grosso, Brazil. *Agroforest Systems*, v. 93, n. 6, p. 2085-2096, doi: 10.1007/s10457-018-0311-x.
- Moraes Júnior, R. J.; Garcia, A. R.; Santos, N.; Nahum, B. D. S.; Junior, L.; Araújo, C. V.; Costa, N. A. 2010. Conforto ambiental de bezerros bubalinos (*Bubalus bubalis* Linnaeus) em sistemas silvipastoris na Amazônia Oriental. *Acta Amazonica*, v. 40, n. 4, p. 629 – 640.
- Nardone, A.; Ronchi, B.; Lacetera, N.; Ranieri, M. S.; Bernabucci, U. 2010. Effects of climate changes on animal production and sustainability of livestock systems. *Livestock Science*, v. 130, p. 57-69, doi: 10.1016/j.livsci.2010.02.011.
- Navarini, F. C.; Klosowski, E. S.; Campos, A. T.; Teixeira, R. D. A.; Almeida, C.P. 2009. Conforto térmico de bovinos da raça nelore a pasto sob diferentes condições de sombreamento e pleno sol. *Engenharia Agrícola*, v. 29, n. 4, p. 508-517.
- Neel, J. P. S.; Belesky, D. P. 2017. Herbage production, nutritive value and animal productivity within hardwood silvopasture, open and mixed pasture systems in Appalachia, United States. *Grass and Forage*, v. 72, n. 1, p. 137-153, doi: 10.1111/gfs.12211.

- Oliveira, C. C.; Alves, F. V.; Almeida, R. G.; Gamarra, É. L.; Villela, S. D. J.; Martins, P. G. M. A. 2017. Thermal comfort indices assessed in integrated production systems in the Brazilian savannah. *Agroforestry systems*, v. 92, n. 6, p. 1659-1672, doi: 0.1007/s10457-017-0114-5.
- Oliveira, C. C.; Alves, F. V.; Martins, P. G. M. A.; Karvate Junior, N.; Alves, G. F.; Almeida, R. G.; Mastelaro, A. P.; Silva, E. V. C. 2019. Vaginal temperature as indicative of thermoregulatory response in Nellore heifers under different microclimatic conditions. *PLoS ONE*, v. 14, n. 10, doi: e0223190.
- Oliveira, C. C.; Villela, S. D. J.; Almeida, R. G.; Alves, F. V.; Behling Neto, A.; Martins, A. P. G. M. 2014. Performance of Nellore heifers, forage mass, and structural and nutritional characteristics of *Brachiaria brizantha* grass in integrated production systems. *Tropical animal health and production*, v. 46, n. 1, p. 167-172, doi: 10.1007/s11250-013-0469-1.
- Paciullo, D. S. C.; Lopes, F. C. F.; Junior, J. D. M.; Viana Filho, A.; Rodriguez, N. M.; Morenz, M. J. F.; Aroeira, L. J. M. 2009. Características do pasto e desempenho de novilhas em sistema silvipastoril e pastagem de braquiária em monocultivo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 44, n. 11, p. 1528-1535.
- Pérez, E.; Soca, M.; Díaz, L.; Corzo, M. 2008. Comportamiento etológico de bovinos en sistemas silvipastoriles en Chiapas, México. *Pastos y Forrajes*, v. 31, n. 2.
- Pezzopane, J. R. M.; Nicodemo, M. L. F.; Bosi, C.; Garcia, A. R.; Lulu, J. 2019. Animal thermal comfort indexes in silvipastoral systems with different tree arrangements. *Journal of thermal biology*, v. 79, p. 103-111, doi: 10.1016/j.jtherbio.2018.12.015.
- Pontes, S. L.; Barro, R. S.; Savian, J. V.; Berndt, A.; Moletta, J. L.; Porfírio-da-Silva, V.; Bayer, C.; Carvalho, P. C. F. 2018. Performance and methane emissions by beef heifer grazing in temperate pastures and in integrated crop-livestock systems: The effect of shade and nitrogen fertilization. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 253, p. 90-97, doi: 10.1016/j.agee.2017.11.009.
- Porfírio-da-Silva, V. 2012. Produtividade em sistema de integração lavoura-pecuária - Floresta no subtrópico brasileiro. Tese (Doutorado), CURITIBA-PR, Brasil.
- Santos, D. C.; Júnior, R. G.; Vilela, L.; Maciel, G. A.; França, A. F. S. 2018. Implementation of silvipastoral systems in Brazil with *Eucalyptus urograndis* and *Brachiaria brizantha*: Productivity of forage and an exploratory test of the animal response. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 266, p. 174-180, doi: 10.1016/j.agee.2018.07.017.
- Silva, L. L. G. G.; Resende, A. S.; Dias, P. F.; Souto, S. M.; Azevedo, B. C.; Vieira, M. D. S.; Colombari, A. A.; Torres, A. Q. A.; Matta, P. M.; Perin, T. B.; Franco, A. 2010. Avaliação de conforto térmico em sistema silvipastoril em ambiente tropical. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, v. 18, n. 3, p. 87-95.
- Souza, W. D.; Barbosa, O. R.; Marques, J. D. A.; Gasparino, E.; Cecato, U.; Barbero, L. M. 2010. Behavior of beef cattle in silvipastoral systems with eucalyptus. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 39, n. 3, p. 677-684.
- Vega, A. M.; Herrera, R. S.; Lamela, L.; Santana, A. A.; Rodríguez, G. A. 2013. Evaluación en Silvopastoreo y monocultivo de hembras Charolaise en crecimiento en el oriente cubano. *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*, v. 14, n. 2, p. 1-10.

CAPÍTULO 6

DESEMPENHO DE GADO LEITEIRO EM SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO PECUÁRIA-FLORESTA

*Alan Figueiredo de Oliveira; Ângela Maria Quintão Lana; Lúcio Carlos Gonçalves;
Matheus Anchieta Ramirez; Pamella Grossi de Sousa; Frederico Patrus Ananias de
Assis Pires; Rafael Araújo de Menezes; Guilherme Lobato Menezes*

RESUMO

A produção de leite no Brasil é realizada predominantemente em sistemas que utilizam pastagens como fonte de alimento volumoso. O manejo inadequado é o principal fator que acarreta a degradação das pastagens. A renovação dessas pastagens e a manutenção de suas produtividades podem ser realizadas pela implantação de sistemas de integração pecuária-floresta (IPF). A maior densidade de árvores na IPF aumenta o sombreamento e pode reduzir a produtividade e melhorar o valor nutritivo da pastagem. Essas alterações, juntamente com melhores condições ambientais, podem aumentar a produção individual, mas reduzir a produção por área. Geralmente os animais em IPF permanecem mais tempo em pastejo, apresentam maior procura por sombra, têm menor número de eventos agressivos e passam menos tempo perto da fonte de água. As alterações nas condições ambientais na IPF também podem modificar a infestação parasitária e o controle biológico de alguns vermes. Portanto, o conhecimento dessas alterações que ocorrem na IPF é fundamental para planejar os sistemas com o objetivo de maximizar o retorno financeiro e manter a capacidade produtiva ao longo dos anos.

INTRODUÇÃO

A produção de leite no Brasil é baseada predominantemente em rebanhos constituídos pelos cruzamentos de raças zebuínas, como a Gir e a Guzerá, com raças europeias, como a Holandês e a Jersey. A maioria desses rebanhos é criada em sistemas que utilizam pastagens como fonte de alimento volumoso para os animais. Segundo Dias Filho (2014), o manejo inadequado dessas pastagens, como o superpastejo, a falta de medidas para a conservação do solo e a escolha de espécies forrageiras inadequadas para a região são os principais fatores que acarretam a degradação das pastagens.

A renovação dessas pastagens degradadas e a manutenção de suas produtividades podem ser realizadas mediante a implantação de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF). A recuperação das pastagens por meio desse sistema aumenta a produção de grãos, fato que pode amortizar os custos iniciais da implantação do pasto (Almeida *et al.*, 2013). Além dessa vantagem, Nicodemo *et al.* (2018) citaram outros benefícios da ILPF na produção animal, como melhoria dos índices reprodutivos, melhoria na produção individual, maior conforto térmico, menor infestação de parasitas e melhoria da qualidade do solo.

Nesses sistemas, a maior densidade de árvores pode aumentar o sombreamento, reduzir a produtividade do pasto e melhorar o valor nutritivo da pastagem (Paciullo *et al.*, 2011). Essas alterações, juntamente com melhores condições ambientais, podem gerar maiores produções de leite por vaca (Paciullo *et al.*, 2014; Améndola *et al.*, 2019). Entretanto, a menor produção forrageira reduz a capacidade de suporte do pasto e pode diminuir a produção total por área.

O ganho de peso individual dos animais não é influenciado pelo sistema porque geralmente se adequa à oferta de forragem aos animais. Todavia, devido à menor produção de forragem em sistemas com maior densidade arbórea, o ganho de peso por área pode ser reduzido (Lima *et al.*, 2018). Outro aspecto importante é o melhor conforto térmico, que altera o comportamento dos animais na IPF. Assim, objetivou-se com este capítulo discutir os principais aspectos relacionados com o desempenho da pecuária leiteira em sistemas de integração pecuária-floresta.

PRODUÇÃO DE LEITE EM SISTEMAS DE IPF

Os sistemas de IPF apresentam características diferentes dos sistemas tradicionais, as quais afetam a produção de leite. Nos sistemas tradicionais, a radiação solar plena que atinge o pasto tem efeito distinto no pasto e nos animais. Nos animais, a falta ou a inadequada oferta de área de sombra gera desconforto térmico e influencia negativamente o consumo de matéria seca, a produção de leite, a capacidade produtiva e o sistema imune. Por outro lado, a alta radiação solar que atinge o pasto, juntamente com a alta disponibilidade de água e de luz, proporciona alta produção de forragem e maior capacidade de suporte do pasto. Portanto, o equilíbrio entre o número de árvores e a porcentagem de sombreamento do pasto é o principal desafio nos sistemas de IPF. Esse desafio busca oferecer sombra e ambiente adequado aos animais, maximizar a produção individual e não reduzir, ou reduzir pouco, a produção do pasto e a de leite por área.

Ainsworth *et al.* (2012) avaliaram o efeito de algumas variáveis de sistemas produtivos de leite na Nicarágua, e a presença de até 66 árvores nativas por hectare não afetou ($p>0,05$) a produção de leite de vacas Zebus (Brahman e seus cruzamentos). Entretanto, a presença de sombra reduziu ($p<0,05$) a condição corporal das vacas. Segundo os autores, esse fenômeno pode ter ocorrido pela menor produtividade do pasto e pela necessidade de os animais se deslocarem mais e permanecerem por mais tempo pastando para colherem a mesma quantidade de forragem que os animais em pleno sol.

Paciullo *et al.* (2014) estudaram, por três anos, a produção de leite de vacas F1 Holandês x Zebu e a capacidade de suporte da IPF formada por pasto de *Urochloa decumbens*, *Stylosanthes* spp., *Pueraria phaseoloides* e *Calopogonium mucunoides* e um total de 70 árvores/ha de *Acacia mangium*, *Gliricidia sepium* e *Leucaena leucocephala* e o pleno sol formado por *U. decumbens* e *Stylosanthes* spp. A capacidade de suporte dos pastos não variou ($p>0,05$) entre os sistemas, e a produção de leite das vacas foi maior ($p<0,05$) na IPF no primeiro ano (10,4 kg/vaca/dia) em comparação com as vacas no pleno sol (9,5 kg/vaca/dia) e não diferiu nos anos seguintes.

Essa similaridade entre os tratamentos demonstra que, quando planejados de forma adequada com menor densidade arbórea, os sistemas de IPF podem não prejudicar de modo acentuado a produção dos pastos e manter a produção animal nessas áreas. Em tais condições, o fornecimento de sombra pelas árvores gera melhor ambiência para os animais e pode aumentar a rentabilidade dos sistemas por melhorar a saúde e a reprodução dos animais e gerar nova fonte de renda proveniente da madeira.

Resultados semelhantes foram encontrados por Vizzotto *et al.* (2015), que obtiveram produção de 22,2 L/vaca/dia em vacas mantidas em pasto de capim-sudão (*Sorghum sudanense* L.) e *U. plantaginea* com acesso a aproximadamente 10 m² de sombra de eucalipto (*Eucalyptus coolabah*) com mais de cinco metros de altura e 21,2 L/vaca/dia em vacas no mesmo tipo de pasto, mas sem acesso à sombra, sem diferença ($p>0,05$) entre os tratamentos.

Os resultados da literatura, principalmente a mais recente, acerca da produção de leite são muito escassos. Essa escassez pode ser atribuída a fatores que dificultam a realização de pesquisas com vacas em lactação, como a dificuldade de manejo dos animais e a falta de mão de obra nos centros de pesquisa, a necessidade de longo tempo de avaliação, a necessidade de grande número de animais por tratamento para algumas variáveis e o alto custo de implantação dos sistemas arborizados.

Moneeb *et al.* (2019) avaliaram a qualidade de um queijo tradicional do México (“Queijo Panela”) produzido com leite de vacas criadas em monocultivo de grama-estrela (*Cynodon nlemfuensis*) e suplementadas com concentrado (60% de milho moído, 30% de farelo de soja e 10% de casca de soja) ou em IPF com grama-estrela e plantas jovens de *Leucena leucocephala* (36.000 plantas/ha) e suplementadas apenas com sorgo moído. Não houve diferença na composição geral do leite e do queijo feito com leite das vacas mantidas em pleno sol ou em IPF. O queijo feito com o leite das vacas mantidas em IPF teve menor conteúdo de ácido graxo hipercolesterolêmico, maior conteúdo de ômega-3, de ômega-6 e de ácidos graxos poli-insaturados e foi preferido pelos consumidores devido aos atributos de aparência, de textura e de sabor. Os autores concluíram que o queijo feito com o leite das vacas criadas em IPF foi melhor que o feito com o leite daquelas em pleno sol devido ao melhor perfil de ácidos graxos e à maior aceitabilidade dos consumidores. Com base nisso, foi concluído que a IPF intensiva pode ser mais sustentável para produtores em comparação ao sistema tradicional de monocultura.

Embora não tenha sido objetivo dos autores avaliar a produção total do sistema, a capacidade de suporte do pasto em pleno sol foi de 2,0 UA/ha e na IPF foi de 2,4 UA/ha, fato que provavelmente também aumentou a produção total da IPF, pois as vacas tinham produções semelhantes. Juntamente com a maior capacidade de suporte, a qualidade do pasto também foi melhor na IPF devido à inclusão da leucena. Esse melhor valor nutricional do pasto permitiu a utilização de alimento concentrado mais barato, o que permite produzir leite com menor custo. O grande desafio desse tipo de sistema com a inclusão de espécies arbóreas leguminosas é conseguir manter o equilíbrio entre a população de plantas de leguminosa e de gramínea. A árvore leguminosa, que é preferida pelos animais, se for mal manejada, pode ser superpastejada e não persistir no pasto. Por outro lado, se a leguminosa for subpastejada, pode crescer e sair do alcance dos animais e ser subutilizada. Portanto, embora experimentalmente os resultados sejam excelentes, a sua aplicação em sistemas de produção reais pode ser difícil.

Na mesma área e com o mesmo delineamento experimental, Bottini-Luzardo *et al.* (2016) encontraram produções semelhantes de leite (13,5 kg/vaca/dia na IPF e 14,5 kg/vaca/dia no pleno sol) nas vacas nos dois sistemas e maior nitrogênio ureico no leite das vacas em IPF (19,1 mg/dL nas vacas em IPF e 15,3 mg/dL naquelas em pleno sol). Os autores concluíram que a utilização de IPF com pasto de grama-estrela e leucena e suplementação com sorgo moído permite reduzir os custos de produção em relação aos sistemas tradicionais, que geralmente utilizam alimentos concentrados mais caros. Outro

ponto importante ressaltado pelos autores é a necessidade de estabelecer estratégias para reduzir a ineficiência do uso de nitrogênio no rúmen. Possíveis estratégias para mitigar esse problema é diminuir o número de plantas de leucena por hectare, limitar o acesso dos animais aos pastos com leucena, sincronizar a degradação ruminal de carboidratos e proteína e fornecer o alimento concentrado mais vezes ao dia em menores porções.

GANHOS DE PESO EM SISTEMAS DE IPF

De forma semelhante à produção de leite, o ganho de peso dos animais também pode ser alterado em sistemas de IPF. Nesses sistemas, a menor produção de pasto em locais muito sombreados reduz a capacidade de suporte do pasto e o ganho de peso animal por área. Entretanto, quando a oferta de forragem por animal é padronizada, os efeitos da maior qualidade do pasto e do melhor ambiente podem gerar maiores ganhos individuais. Portanto, quando se trabalha com categorias mais novas, o desafio também é achar o equilíbrio entre densidade de árvores, sombreamento do pasto e produção animal (Xavier *et al.*, 2014; Lima *et al.*, 2019).

Paciullo *et al.* (2011) avaliaram o desempenho de novilhas leiteiras de composição genética de $\frac{1}{2}$ a $\frac{3}{4}$ Holandês \times Zebu com oferta de forragem diária de 7% do peso vivo, em um sistema de IPF com 105 árvores por hectare com as espécies *Acacia mangium*, *A. Angustissima*, *Mimosa artemisiana* e *Eucalyptus grandis* e a espécie forrageira *U. decumbens* e em um sistema com monocultivo de *U. decumbens* durante três anos. O ganho de peso diário e o ganho de peso por área foram menores no período seco em relação ao período chuvoso devido à maior oferta e qualidade da forragem na estação chuvosa. Além disso, durante o período chuvoso do primeiro e do último ano do experimento, os ganhos individuais e por área foram maiores na IPF em comparação à monocultura.

Essa maior produção animal na IPF pode ser atribuída à melhor ambiência, ao maior teor de PB na forragem e à oferta semelhante de forragem entre os sistemas. A tolerância da *U. decumbens* a 29% de sombreamento na IPF demonstra a importância de planejar a densidade das árvores para não prejudicar o desempenho animal e garantir a sustentabilidade financeira desses sistemas.

Resultados semelhantes foram observados por Paciullo *et al.* (2009), que não encontraram diferença ($p > 0,05$) no ganho de peso diário de novilhas $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$ e $\frac{7}{8}$ Holandês \times Zebu em um sistema de IPF com 30 m entre renques e pasto de *U. decumbens* e o seu monocultivo. Foram observados ganhos médios diários de 242 e 625 g por dia por

novilha nas épocas seca e chuvosa, respectivamente. Segundo os autores, os ganhos de peso acima de 600 g por dia observados no período chuvoso são suficientes para garantir um bom desenvolvimento dos animais. Porém, é necessário utilizar estratégias de suplementação nutricional durante o período seco para melhorar os índices produtivos desses sistemas e reduzir a idade ao primeiro parto e o ciclo produtivo da pecuária de leite.

Lima *et al.* (2018) avaliaram o desempenho de novilhas F1 (Holandês x Gir) com aproximadamente 200 kg de PV em um sistema de IPF com linhas quádruplas das árvores *Eucalyptus grandis*, *Acacia mangiu* e *Mimosa artemisiana* plantadas na direção norte-sul com três metros entre linhas, três metros entre árvores e 30 m entre renques e a forrageira *U. decumbens* e a pastagem da *U. decumbens* em pleno sol. A taxa de lotação e os ganhos de peso por área e diários foram 7,0, 13,0 e 11,0% maiores ($p < 0,05$) no pleno sol em relação ao sistema de IPF (Tabela 1).

Tabela 1. Taxa de lotação e ganhos de peso por área e diários de novilhas em IPF ou em pleno sol

Variável	Sistema	
	IPF	Pleno sol
Taxa de lotação (UA/ha)	1,4b	1,5a
Ganho de peso por área (kg PV/ha)	96,0 b	110,6a
Ganho médio diário (kg/dia)	474,5b	533,0a

Médias seguidas de letras distintas na mesma linha diferem entre si pelo teste de PDIF ($p < 0,05$). Fonte Adaptado de Lima *et al.* (2018).

Segundo os autores, o maior ganho de peso diário no pleno sol não era esperado devido ao ajuste e à padronização da oferta de forragem entre os tratamentos. Entretanto, a densidade de forragem foi 29,9% maior no pleno sol (92,1 kg MS/cm/ha) em comparação à IPF (64,6 kg MS/cm/ha). Essa característica de maior densidade do pasto em pleno sol aumenta o volume e a massa do bocado dos animais. Portanto, os animais andam menos e precisam mudar menos vezes a estação de pastejo para ingerir a quantidade de forragem desejada. Assim, mesmo com a mesma oferta de forragem, a característica do pasto em sistemas de IPF pode mudar a dinâmica de pastejo e o desempenho animal.

Os autores concluíram que, em sistemas de IPF, a alta competição por luz entre as árvores e a pastagem reduzem a produção de forragem e o desempenho animal em relação ao pleno sol. No entanto, o melhor valor nutricional da forragem, o conforto

animal e a renda proveniente da madeira podem contribuir para a implementação da IPF, desde que não haja limitação extrema de luminosidade.

A utilização de leguminosas arbóreas pode ser uma estratégia para aumentar o valor nutricional e a produtividade das pastagens. Essa variação na pastagem pode ser atribuída ao fato de as leguminosas arbóreas em IPF poderem aumentar a fixação de nitrogênio atmosférico e a ciclagem de nutrientes mais profundos no solo.

Nesse contexto, Mello *et al.* (2014) avaliaram a produção do pasto e o desempenho de novilhas F1 (Holandês x Gir) em IPF de *U. decumbens* com *Gliricidia sepium* ou *Mimosa caesalpiniiifolia* em linhas duplas com 15 m entre renques, 1 m entre linhas e 0,5 m entre árvores (2.500 árvores/ha) e a *U. decumbens* em pleno sol. A produção total de forragem foi semelhante entre os sistemas devido à produção de forragem das leguminosas. A capacidade de suporte e o desempenho animal não variaram ($p > 0,05$) entre os sistemas. O ganho médio diário máximo foi de 860 g/cabeça/dia e o ganho de peso por área máximo foi de 324,76 kg/ha/ano. Os resultados de ganho de peso demonstram a capacidade de alta produção animal em sistemas de IPF com leguminosas arbóreas. Segundo os autores, a produção de madeira, a melhoria da qualidade de solo, o aumento do estoque de carbono, a melhoria do ambiente para os animais e a manutenção da produção animal são os principais benefícios desses sistemas.

As pesquisas sobre o ganho de peso são mais numerosas que as relacionadas à produção de leite. Porém, ainda há a necessidade de estudar o desempenho de diferentes grupamentos genéticos na IPF. Além disso, outros aspectos, como os índices reprodutivos, a capacidade de resposta do sistema imune, a qualidade do leite, a ocorrência de mastite, a ocorrência de doenças no período de transição, a saúde do bezerro e a produção de leite na primeira lactação de novilhas em IPF, são importantes de serem investigados em futuros estudos.

COMPORTAMENTO INGESTIVO DOS ANIMAIS EM IPF

O comportamento ingestivo dos animais em IPF pode ser alterado devido às mudanças nas características agrônômicas do pasto. Essas características, como a menor oferta de forragem por área, a menor densidade do pasto, a maior proporção de colmos e a maior altura, podem prejudicar a dinâmica de pastejo. O pastejo nessas situações pode levar à menor captura de forragem por estação, que, junto às melhores condições ambientais, pode aumentar o tempo total em pastejo durante o dia.

Paciullo *et al.* (2009) encontraram consumo de matéria seca (CMS) semelhante em novilhas Holandês x Zebu em um sistema de IPF com 30 m entre renques e pasto de *U. decumbens* (2,25% PV) e o seu monocultivo (2,10% PV). Segundo os autores, essa igualdade não era esperada devido às melhores condições climáticas e à melhor qualidade da forragem em áreas de IPF. Tendência semelhante foi encontrada por Paciullo *et al.* (2014), que não encontraram diferença no CMS de vacas F1 Holandês x Zebu em IPF formada por pasto de *U. decumbens*, *Stylosanthes* spp., *Pueraria phaseoloides* e *Calopogonium mucunoides* e um total de 70 árvores/ha das espécies *Acacia mangium*, *Gliricidia sepium* e *Leucaena leucocephala* ou em pleno sol formado por *U. decumbens* e *Stylosanthes* spp.

Sousa *et al.* (2015) avaliaram o consumo e o comportamento de ovelhas em um sistema de IPF com *U. brizantha* cv. Marandu e 160 árvores de bolsa-de-pastor (*Zeyheria tuberculosa*) e a *U. brizantha* cv. Marandu em pleno sol. Os consumos de matéria seca e de matéria orgânica foram maiores na IPF e o consumo total de água foi 10,2% maior no pleno sol (Tabela 2).

Tabela 2. Variáveis de comportamento e de consumo de ovelhas em IPF e em pleno sol

Variável	IPF	Pleno sol	P
Comportamento			
Pastejando (min/dia)	572	288	<0,001
Em repouso (min/dia)	188	373	0,008
Andando (min/dia)	30	89	<0,001
Bebendo (min/dia)	20	53	0,016
Consumo			
CMS (g MS/kg ^{0,75} PV/d)	88,2	79,9	<0,001
CMO (g MS/kg ^{0,75} PV/d)	86,4	78,6	<0,001
CA (mL/kg ^{0,75} PV/d)	430	474	<0,021

CMS: consumo de matéria seca, CMO: consumo de matéria orgânica, CA: consumo de água. Fonte: Adaptado de Sousa *et al.* (2015).

Além disso, no pleno sol os animais passaram menos tempo pastejando e mais tempo em repouso, em deslocamento e bebendo água. O maior tempo bebendo água, andando e em repouso são indicativos de comportamentos para mitigar os efeitos do estresse térmico no pleno sol. Entretanto, é importante ressaltar que, embora a temperatura média tenha sido 10,0% menor na IPF, a umidade foi 6,9% menor no pleno sol, o que gerou um índice de temperatura e umidade (ITU) apenas 2,1% menor na IPF.

O menor consumo de água na IPF é um indicador de maior conforto térmico e permite a economia de água na agropecuária. Além disso, segundo os autores, o maior consumo de pasto e o maior tempo pastejando são indicadores de que a IPF promove

maior conforto térmico. Entretanto, pastagens em IPF geralmente apresentam menores densidades de forragem e de perfilho, características que podem aumentar o número de bocados e o tempo em pastejo para que os animais atinjam o consumo desejado.

Pastagens cultivadas em sombreamento são mais altas (Paciullo *et al.*, 2014; Santos *et al.*, 2016) e por isso apresentam maior proporção de colmos para a sustentação da planta. Essa alteração na morfologia da planta pode modificar o comportamento ingestivo dos animais. Considerando-se que os ruminantes domésticos selecionam preferencialmente as folhas e os perfilhos novos, os animais que pastam plantas muito altas e com maior proporção de colmo geralmente apresentam menor massa de bocado, menos tempo em uma mesma estação de pastejo, menor taxa de bocado por estação de pastejo e mais tempo pastando em comparação aos animais em pastos com melhores características estruturais (Benvenuti *et al.*, 2009; Fonseca *et al.*, 2013; Mezzalana *et al.*, 2014). Essas alterações também podem ser uma das causas do maior tempo gasto pelos animais em pastejo em IPF.

Karki e Goodman (2010) verificaram que vacas secas adultas tiveram uma distribuição mais uniforme no pasto, permaneceram mais tempo pastando e menos tempo em ócio em IPF com *Pinus taeda* e *Paspalum notatum* em comparação ao pleno sol com uma área de sombra concentrada. Segundo os autores, uma das explicações para a melhor distribuição e para o maior tempo em pastejo são as melhores condições ambientais e, principalmente, a menor carga térmica que atinge o pasto na IPF.

Os autores destacaram que as piores características do pasto na IPF podem causar o maior tempo em pastejo. Portanto, é necessário interpretar com cautela os dados de comportamento animal e avaliar esses dados conjuntamente com os dados de características do pasto e o desempenho animal. Ferreira *et al.* (2011) também observaram maior tempo diário em pastejo e menor ruminação e ócio em ovelhas Santa Inês sob a sombra de árvores de coco (*Coco nucifera*) em comparação aos animais em pleno sol.

Resultados semelhantes foram encontrados por Mello *et al.* (2017) em novilhas Girolando 3/4 e 7/8 com aproximadamente 350 kg de PV monitoradas das 8h30 às 16 horas em pastagens de *U. brizantha* cv. Piatã em pleno sol e com sombreamento moderado ou intenso. Nas horas mais quentes do dia, as novilhas procuraram pela sombra nos sistemas com sombreamento intenso e interromperam o pastejo no pleno sol. Além disso, as novilhas no pleno sol procuraram mais por água e tiveram menor período e frequência de pastejo em relação às novilhas em ambiente sombreado. Embora esses resultados indiquem um melhor conforto térmico e bem-estar animal durante o dia em

IPF, esses animais com essa faixa etária podem compensar o menor consumo e o menor tempo em pastejo no período noturno e terem desempenhos produtivos semelhantes. Portanto, além do comportamento dos animais, é necessário sempre considerar o desempenho produtivo e a categoria animal como critérios para planejar esses sistemas.

Vieira Júnior *et al.* (2019), no estado do Paraná, não encontraram diferenças marcantes no ITU entre o meio ou embaixo das árvores em um sistema de IPF formado por *Eucalyptus grandis* com 30 m entre renques e Tifton 85 (*Cynodon* spp.), em uma área com árvores de *Leucaena leucocephala* e em pleno sol. Essa igualdade no ITU pode ser atribuída ao aumento da umidade relativa nos ambientes arborizados. Além disso, os autores ressaltaram que a maior intensidade dos ventos no pleno sol pode melhorar a dissipação de calor. Por outro lado, a sombra das árvores reduz a radiação incidente nos animais e pode diminuir a temperatura corporal.

Os dados de comportamento demonstraram que os animais tiveram picos de pastejos no início e no final do dia e permaneceram em ruminação e em ócio nas horas mais quentes do dia. Além disso, mesmo com ITU abaixo do limite considerado crítico, os animais procuraram sombra e permaneceram mais tempo pastejando nos ambientes com árvores.

Souza *et al.* (2019) não encontraram diferença no ITU entre um sistema de IPF e o pleno sol. Entretanto, as novilhas $\frac{3}{4}$ Holandês x Gir criadas na IPF apresentaram menor temperatura interna, provavelmente pela proteção do sol oferecida pelas árvores. Os animais na IPF não apresentaram diferenças nos tempos pastejando, ruminando, em ócio ou bebendo água durante a noite. Porém, durante o dia, os animais na IPF pastejaram por mais tempo e beberam menos água, possivelmente por melhores condições ambientais. Portanto, o maior conforto térmico durante o dia pode gerar melhores resultados produtivos, desde que não haja drástica redução na produção de forragem.

CONFORTO TÉRMICO DOS ANIMAIS EM IPF

Uma das principais vantagens citadas na literatura para a produção animal são as melhores condições ambientais da IPF. As alterações no ambiente, como menor temperatura e menor radiação solar, geram melhor conforto para os animais. Entretanto, em sistemas com densidade arbórea muito alta, pode haver grande aumento na umidade relativa do ar e redução na circulação dos ventos, o que pode prejudicar o conforto animal. Portanto, é necessário utilizar densidades arbóreas intermediárias para maximizar as condições ambientais e promover conforto térmico para os animais.

Lopes *et al.* (2016) avaliaram variáveis climáticas dos sistemas e comportamentais de novilhas 3/4 e 7/8 Girolando em IPF formada com *U. brizantha* cv. Piatã com eucalipto espaçado de 15 ou 49 m entre renques ou em pleno sol. Os índices de conforto térmico foram melhores nos sistemas de IPF, como menor temperatura e ITU. Além disso, esse melhor ambiente na IPF mudou o comportamento dos animais, que permaneceram mais tempo na sombra e menos tempo andando e pastejando.

Schütz *et al.* (2010) estudaram o comportamento e a fisiologia de vacas leiteiras submetidas à oferta de 0, 2, 4 e 9,6 m² de sombra por vaca. Os autores observaram que as vacas passaram mais que o dobro do tempo na sombra e tiveram menos interações agressivas no tratamento com 9,6 m² em comparação ao tratamento com 2,4 m². O tempo perto das fontes de água e as taxas de respirações foram maiores nos tratamentos com pouca ou nenhuma sombra. Esses resultados, embora em condições diferentes da IPF, demonstram a importância de oferecer boa área de sombra para vacas em lactação como estratégia de mitigação dos efeitos negativos causados pelo estresse térmico provocado pelo calor.

Mesma tendência foi encontrada por Tucker *et al.* (2008) em vacas da raça Holandês em ambientes sem acesso à sombra ou com acesso a 8 m² de sombra por vaca com 25, 50 ou 99% de bloqueio à radiação solar. Os animais procuraram mais a sombra e tiveram menores temperaturas corporais no tratamento com maior bloqueio da radiação solar. Schütz *et al.* (2014) observaram, em seis fazendas na Nova Zelândia, que, quando houve ausência de sombra, 4% a mais do rebanho apresentaram escore de ofegação maior que dois e as vacas tiveram oito movimentos respiratórios a mais por minuto. Além disso, o fornecimento de 1 m² a mais de sombra aumentou em 3,1% a utilização da sombra e reduziu 0,3% o escore de ofegação. Esses resultados demonstram a importância de prover sombra como ferramenta de proteção das vacas de leite contra a radiação solar.

Van Laer *et al.* (2015), em região de clima temperado (Bélgica), observaram menores taxas de respiração e ofegação em vacas da raça Holandês com acesso a 10,5 m² de sombra em relação às vacas sem acesso. Vizzotto *et al.* (2015), em região de clima subtropical (sul do Brasil), também encontraram menores frequências respiratórias e cardíacas, menor temperatura retal e menor taxa de ofegação em vacas da raça Holandês e seu F1 com Jersey com acesso a mais de 10 m² de sombra por vaca em relação aos animais sem acesso à sombra. Além disso, esses animais sem acesso à sombra permaneceram mais tempo perto da fonte de água e tiveram mais competição e eventos agressivos por sombra; entretanto, sem diferenças ($p > 0,05$) no peso vivo, no escore de

condição corporal e na produção de leite das vacas entre os sistemas. Segundo esses autores, em regiões subtropicais o acesso à sombra minimiza o efeito negativo do estresse térmico no comportamento e nos aspectos fisiológicos de vacas leiteiras.

Ademais, é importante ressaltar que, embora não tenha ocorrido diferença produtiva, os animais com acesso à sombra podem ter vantagens produtivas como melhor atividade do sistema imune, melhores índices reprodutivos e menor taxa de ocorrência de enfermidades, como mastite e retenção de placenta. Esses indicadores de saúde são geralmente difíceis de serem medidos em experimentos porque demandam grande número de animais nos tratamentos, fato que torna esses experimentos caros. Entretanto, a literatura já tem evidências sólidas de que o fornecimento de sombra e a amenização do estresse térmico geram efeitos benéficos aos animais e podem trazer maior lucratividade aos sistemas.

Vacas criadas em condições tropicais geralmente procuram sombra nos momentos mais quentes e com maior carga térmica durante o dia. Leme *et al.* (2005) observaram que vacas mestiças Girolando preferiram ficar no sol durante o inverno, porém permaneceram mais na sombra no verão e preferiram as sombras das árvores com copas maiores e mais globosas em relação às árvores com copas menores. Essa observação demonstra que vacas buscam proteção do sol em situações quentes e com alta radiação solar.

Souza *et al.* (2017) avaliaram o comportamento, as variáveis ambientais e as variáveis fisiológicas de novilhas Holandês x Zebu com aproximadamente 330,0 kg de peso vivo em sistema sem sombra ou em sistemas de IPF com *Eucalyptus camaldulensis* com dois metros entre plantas, três metros entre linhas e 49 m entre renques em linhas duplas (385 árvores/ha) ou triplas (720 árvores/ha). Embora a temperatura tenha sido muito superior no sistema sem sombra, a umidade do ar também foi maior nos sistemas sombreados, principalmente naquele com maior adensamento de árvores. O aumento da umidade fez com que o ITU fosse próximo entre os sistemas (84 no sistema sem sombra, 81 no sistema com linhas duplas e 82 no sistema com linhas triplas), embora com diferença estatística entre os sistemas. Outro ponto que pode reduzir os benefícios ambientais da IPF é a menor velocidade do vento nesse sistema. Nesse estudo, a velocidade do vento no pleno sol foi 33,34% maior em relação à IPF com linhas duplas e 66,67% maior em relação à IPF com linhas triplas.

A combinação entre menor temperatura, porém com maior umidade do ar e menor velocidade dos ventos nos ambientes de IPF, faz com que os benefícios na ambiência não

sejam extremamente diferentes. Entretanto, a menor carga térmica sobre os animais na IPF é um importante fator que reduz o estresse nos animais. Nesse trabalho, os animais passaram mais tempo pastejando nos sistemas sombreados. Além disso, as novilhas tiveram menores taxas respiratórias e temperaturas da pele nos ambientes sombreados em relação ao pleno sol. Essas observações indicam que, embora o ITU possa ser semelhante entre os sistemas, a menor radiação solar pode causar melhor conforto e desempenho dos animais, principalmente nos ambientes com densidades intermediárias de árvores.

Silva *et al.* (2011) avaliaram variáveis fisiológicas em búfalas Murrah submetidas a um sistema em pleno sol com a pastagem de *U. humidicola* e a outro com sombra da árvore *Racosperma mangium* e pastagem de *U. humidicola*, em Belém-PA. A temperatura retal, a temperatura da superfície corporal e as frequências respiratória e cardíaca foram maiores no período da tarde e no sistema sem sombra, principalmente no período chuvoso. Os autores concluíram que o sistema de IPF foi eficiente em promover melhores condições de conforto térmico para os animais e que a temperatura ambiente é o fator de maior impacto sobre o bem-estar das búfalas Murrah.

Comportamento semelhante foi encontrado por Garcia *et al.* (2011), em búfalas, em um sistema de IPF com pastagem formada por grama-estrela (*Cynodon nlemfuensis*) e árvores de mogno-africano (*Khaya ivorensis* A. Chev.) e nim-indiano (*Azadirachta indica* A. Juss.), e por Joset *et al.* (2018), em búfalas, em IPF com pastagem de *U. humidicola* e árvores de jambo-vermelho (*Syzygium malaccense*) e coité (*Crescentia cujete*). A IPF tem papel importante no desenvolvimento da bubalinocultura na região amazônica por gerar menos impactos negativos no ambiente e melhorar a ambiência para os animais (Castro *et al.*, 2008).

Garcia (2013) descreveu os efeitos do estresse térmico em búfalas. Segundo o autor, devido a esses animais conterem epiderme escura, o oferecimento de sombra pode prevenir a radiação direta sobre os animais e facilitar sua termorregulação. Nesse contexto, os sistemas de IPF podem melhorar os índices bioclimatológicos e o conforto animal. Esses fatores podem melhorar o desenvolvimento folicular, aumentar as taxas de concepção após inseminação artificial em tempo fixo, melhorar o desenvolvimento fetal e facilitar os partos.

Silva *et al.* (2014) encontraram menores níveis de cortisol no sangue de búfalas criadas em IPF com a árvore *Racosperma mangium* em comparação às criadas em pleno sol. Os níveis de tri-iodotiroxina e tiroxina foram negativamente correlacionados com a temperatura ambiente e o ITU e positivamente com umidade ambiente. De acordo com

os autores, as menores concentrações de tri-iodotiroxina e tiroxina nos animais nas épocas mais quentes pode ser um mecanismo adaptativo para reduzir o metabolismo e a produção de calor.

A maior parte da literatura nacional e internacional atribui a melhoria da ambiência em IPF como um dos principais benefícios desse sistema. Porém, é necessário estabelecer uma visão holística do sistema produtivo e considerar todos os fatores que interferem no seu resultado técnico e econômico. Embora a melhoria do bem-estar animal seja uma demanda cada vez mais crescente da sociedade e tenha impacto direto na produção animal, é necessário sempre minimizar os impactos negativos na produção animal causada pela menor produção do pasto. Os profissionais das ciências agrárias precisam considerar que o sistema produtivo se insere em uma propriedade rural. Essa propriedade rural precisa maximizar os resultados produtivos e econômicos para que o produtor continue na atividade e possa continuar realizando uma produção agropecuária mais sustentável.

INFESTAÇÃO PARASITÁRIA DOS ANIMAIS EM IPF

As condições edafoclimáticas das regiões brasileiras geram um ambiente favorável para o crescimento das pastagens e da produção animal em boa parte do ano. Porém, essas condições climáticas também são favoráveis ao desenvolvimento parasitário e à infecção dos animais criados em pastagens. A infecção por vermes gastrointestinais pode reduzir a taxa de ganho de peso, atrasar o desenvolvimento animal, aumentar a necessidade de manejos, aumentar as despesas com compra de medicamentos e provocar perdas econômicas.

O ambiente na IPF com maior umidade e menor radiação solar pode favorecer a multiplicação parasitária e gerar alta taxa de infestação em ruminantes quando comparado a pastagens tradicionais. Entretanto, a IPF pode proporcionar melhor ambiente e reduzir o estresse dos animais, além de fornecer forragem de melhor qualidade. Essas melhorias no ambiente e na pastagem podem melhorar o sistema imune dos animais e ajudar a controlar a infestação parasitária. Além disso, a biodiversidade na IPF permite o desenvolvimento de predadores naturais dos helmintos, como fungos (*Monacrosporium* sp.) (Araujo *et al.*, 2006) e besouros (*Coleoptera scarabaeoidea*) (Campiglia, 2002), que ajudam a manter a infestação parasitária sob controle.

Mendonça *et al.* (2014) não encontraram diferença ($p > 0,05$) no ganho de peso e na contagem de ovos por grama de fezes (OPG) em novilhas F1 (Holandês x Gir) com

oito a 24 meses de idade, em IPF com pasto de *U. brizantha* e 156 árvores/ha de sucupira-branca, ou no pasto de *U. brizantha* em pleno sol, de agosto de 2008 a fevereiro de 2009. As condições climáticas, o aumento da matéria orgânica no solo, a maior ciclagem de nutrientes pelas raízes das plantas e o aumento da umidade do solo criam um ambiente favorável para o crescimento de inimigos naturais dos helmintos (Sylvain e Wall, 2011). Entretanto, a baixa população de árvores pode ter permitido boa radiação solar da pastagem e redução da infestação parasitária. Além disso, a avaliação apenas de agosto a fevereiro pode não ter sido capaz de avaliar alterações na eliminação de ovos.

Resultados diferentes foram encontrados por Oliveira *et al.* (2017A), em que a contagem de OPG foi significativamente maior ($p < 0,05$) em animais Canchim (5/8 Charolês x 3/8 Zebu) criados em um sistema de IPF formado por *U. decumbens* e 600 árvores/ha em comparação ao pleno sol. Após a realização de coprocultura, os gêneros *Haemonchus*, *Cooperia*, *Oesophagostomum* e *Trichostrongylus* foram encontrados nos dois sistemas, e as taxas de infestação de *Haemonchus* e *Cooperia* foram maiores na IPF. Embora a infecção parasitária tenha sido maior na IPF, o ganho de peso individual e a capacidade de suporte do pasto foram similares entre os sistemas.

Segundo os autores, a densidade das árvores na IPF gerou condições edafoclimáticas favoráveis (menor radiação solar, menor velocidade dos ventos e maiores temperatura e umidade do solo) ao desenvolvimento das larvas dos helmintos. Essas condições edafoclimáticas podem explicar a maior infecção parasitária nos animais em IPF. Entretanto, não houve diferença no desempenho dos animais, mesmo com maior infecção na IPF. Essa igualdade no desempenho pode ser atribuída ao melhor valor nutricional da forragem (Paciullo *et al.*, 2014) e ao menor estresse térmico na IPF, que podem melhorar a resposta imune dos animais (Bernabucci *et al.*, 2010) e reduzir os efeitos negativos da parasitose (Civitello *et al.*, 2015).

Na mesma área experimental e com os mesmos animais, Oliveira *et al.* (2017B) não encontraram diferença ($p > 0,05$) na contagem de teleóginas (*Rhipicephalus microplus*) e de larvas de berne (*Dermatobia hominis*). O número de pupa e de adultos de mosca-dos-chifres (*Haematobia irritans*) foi semelhante nas fezes dos animais nos dois sistemas. Todavia, o número de parasitas da mosca-dos-chifres foi maior nas fezes e a infestação foi menor ($p = 0,01$) nos animais criados na IPF em comparação aos no pleno sol (Tabela 3), fato que pode indicar o controle parcial da mosca do chifre por inimigos naturais na IPF.

Tabela 3. Contagem de mosca-dos-chifres (insetos/10 bolos fecais) e parasitas da mosca-dos-chifres em IPF e em pleno sol

Sistemas	Mosca-dos-chifres		Parasitas da mosca-dos-chifres		
	Pupa	Adulto	<i>Aphaereta</i> sp.	<i>Spalangis</i> sp.	Total de parasitas
IPF	9,83a	3,67a	15,61a	4,92a	20,53a
Pleno sol	10,86a	3,53a	4,67b	0,75b	5,42b

Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem entre si ($p < 0,05$). Fonte: Adaptado de Oliveira *et al.* (2017B).

Giraldo *et al.* (2011) atribuíram a menor infestação por mosca-dos-chifres em animais criados em IPF à presença de predadores das larvas nas fezes. Nesse sentido, Soca *et al.* (2002) observaram maior degradação do bolo fecal na IPF em relação ao pleno sol associada ao número de besouros coprófagos. Esses besouros podem destruir o bolo fecal e aumentar a exposição dos ovos e das larvas a outros parasitas, aumentar a dessecação do bolo fecal e reduzir a infestação de mosca-dos-chifres (Van Dijk *et al.*, 2009; Alonso *et al.*, 2019).

Mais resultados sobre a infestação em IPF são necessários para definir como o ambiente interfere na parasitose dos animais, sempre tendo o desempenho animal como meta. Além disso, é preciso definir a necessidade de medidas alternativas de controle e de modificação do calendário sanitário dos animais criados em IPF. Outro ponto que carece de mais informações é quanto à infestação de diferentes categorias e grupamentos genéticos em IPF.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pecuária leiteira em IPF sofre influência direta das interações entre pasto, árvore e animal. A menor radiação solar que atinge o pasto na IPF melhora a ambiência para os animais. Porém, em sistemas com alta densidade arbórea, a menor produção do pasto pode reduzir consideravelmente a produção de leite por área. As alterações no microclima local também podem alterar o comportamento animal e a infestação parasitária. Portanto, é fundamental o conhecimento dessas alterações para se planejar o sistema antes de sua implantação e maximizar os efeitos positivos na produção total do sistema, no bem-estar animal, na preservação ambiental e na lucratividade do empreendimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ainsworth, J. A.; Moe, S. R.; Skarpe, C. 2012. Pasture shade and farm management effects on cow productivity in the tropics. *Agriculture, ecosystems & environment*, v. 155, p. 105-110, doi: 10.1016/j.agee.2012.04.005.
- Almeida, R. G.; Andrade, C. M. S.; Paciullo, D. S.; Fernandes, P. C.; Cavalcante, A. C. R.; Barbosa, R. A.; Valle, C. B. 2013. Brazilian agroforestry systems for cattle and sheep. *Tropical Grasslands*, v. 1, p. 175-183.
- Alonso, C. B. G.; Zurita, G. A.; Bellocq, M. I. 2019. Livestock areas with canopy cover sustain dung beetle diversity in the humid subtropical Chaco forest. *Insect Conservation and Diversity*, v. 12, n. 4, p. 296-308, doi: 10.1111/icad.12340.
- Améndola, L.; Solorio, F. J.; Ku-Vera, J. C.; Améndola-Massioti, R. D.; Zarza, H.; Mancera, K. F.; Galindo, F. 2019. A pilot study on the foraging behaviour of heifers in intensive silvopastoral and monoculture systems in the tropics. *Animal*, v. 13, n. 3, p. 606-616, doi: 10.1017/S1751731118001532.
- Araujo, J. V.; Assis, R. C. L.; Campos, A. K.; Mota, M. A. 2006. Efeito antagônico de fungos predadores dos gêneros *Monacrosporium*, *Arthrobotrys* e *Duddingtonia* sobre larvas infectantes de *Cooperia* sp. e *Oesophagostomum* sp. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*. v. 58, n. 3, p. 373-380, doi: 10.1590/S0102-09352006000300014.
- Benvenuti, M. A.; Gordon, I. J.; Poppi, D. P.; Crowther, R.; Spinks, W.; Moreno, F. C. 2009. The horizontal barrier effect of stems on the foraging behaviour of cattle grazing five tropical grasses. *Livestock Science*, v. 126, n. 1-3, p. 229-238, doi: 10.1016/j.livsci.2009.07.006.
- Bernabucci, U.; Lacetera, N.; Baumgard, L. H.; Rhoads, R. P.; Ronchi, B.; Nardone, A. 2010. Metabolic and hormonal acclimation to heat stress in domesticated ruminants. *Animal*, v. 4, n. 7, p. 1167-1183, doi: 10.1017/S175173111000090X.
- Bottini-Luzardo, M. B.; Aguilar-Pérez, C. F.; Centurión-Castro, F. G.; Solorio-Sánchez, F. J.; Ku-Vera, J. C. 2016. Milk yield and blood urea nitrogen in crossbred cows grazing *Leucaena leucocephala* in a silvopastoral system in the Mexican tropics. *Tropical Grasslands*, v. 4, n. 3, p. 159-167, doi: 10.17138/TGFT(4)159-167.
- Campiglia, M. A. 2002. Influência de sistemas silvipastoris sobre a dinâmica populacional de besouros coprófagos. Dissertação, Universidade Federal de Santa Catarina.
- Castro, A. C.; Júnior, L.; Brito, J.; Santos, N. D. F. A. D.; Monteiro, E. M. M.; Aviz, M. A. B. D.; Garcia, A. R. 2008. Sistema silvipastoril na Amazônia: ferramenta para elevar o desempenho produtivo de búfalos. *Ciência Rural*, v. 38, n. 8, p. 2395-2402.
- Dias Filho, M. B. 2014. Diagnóstico das pastagens no Brasil. Embrapa Amazônia Oriental-Documentos (INFOTECA-E).
- Ferreira, R. A.; Estrada, L. H. C.; Thiébaud, J. T. L.; Granados, L. B. C.; Souza Júnior, V. R. D. 2011. Avaliação do comportamento de ovinos Santa Inês em sistema silvipastoril no norte fluminense. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 35, n. 2, p. 399-403.
- Fonseca, L.; Carvalho, P.C.F.; Mezzalana, J.C.; Galli, J.R.; Gregorini, P. 2013. Effect of sward surface height and level of herbage depletion on bitefeatures of cattle grazing *Sorghum bicolor* swards. *Journal of Animal Science*, v. 91, n. 9, p. 4357-4365, doi: 10.2527/jas.2012-5602.
- Garcia, A. R. 2013. Conforto térmico na reprodução de bubalinos criados em condições tropicais. *Revista Brasileira de Reprodução Animal*, v. 37, n. 2, p. 121-130.
- Garcia, A. R.; Matos, L. B.; Júnior, L.; Brito, J.; Nahúm, B. D. S.; Araújo, C. V. D.; Santos, A. X. 2011. Variáveis fisiológicas de búfalas leiteiras criadas sob sombreamento em sistemas silvipastoris. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 46, n. 10, p. 1409-1414.
- Giraldo, C.; Escobar, F.; Chara, J. D.; Calle, Z. 2011. The adoption of silvopastoral systems promotes the recovery of ecological processes regulated by dung beetles in the Colombian Andes. *Insect Conservation and Diversity*, v. 4, n. 2, p. 115-122, doi: 10.1111/j.1752-4598.2010.00112.x.

- Joset, W. C. L.; Silva, J. A. R. D.; Godinho, L. A.; Barbosa, A. V. C.; Martorano, L. G.; Júnior, L.; Brito, J. 2018. Thermoregulatory responses of female buffaloes reared under direct sunlight and shaded areas in the dry season on Marajó Island, Brazil. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, v. 40, doi: 10.4025/actascianimsci.v40i1.37641.
- Karki, U.; Goodman, M. S. 2010. Cattle distribution and behavior in southern-pine silvopasture versus open-pasture. *Agroforestry systems*, v. 78, n. 2, p. 159-168, doi: 10.1007/s10457-009-9250-x.
- Leme, T. M. S. P.; Pires, M. D. F. Á.; Verneque, R. D. S.; Alvim, M. J.; Aroeira, L. J. M. 2005. Comportamento de vacas mestiças Holandês x Zebu, em pastagem de *Brachiaria decumbens* em sistema silvipastoril. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 29, n. 3, p. 668-675.
- Lima, M. A.; Paciullo, D. S.; Morenz, M. J.; Gomide, C. A.; Rodrigues, R. A.; Chizzotti, F. H. 2018. Productivity and nutritive value of *Brachiaria decumbens* and performance of dairy heifers in a long-term silvopastoral system. *Grass and forage science*, v. 74, n. 1, p. 160-170, DOI: 10.1111/gfs.12395.
- Lima, M. A.; Paciullo, D. S. C.; Silva, F. F.; Morenz, M. J. F.; Gomide, A. A. M.; Rodrigues, R. A. R.; Bretas, I. L.; Chizzotti, F. H. M. 2019. Evaluation of a long-established silvopastoral *Brachiaria decumbens* system: plant characteristics and feeding value for cattle. *Crop & Pasture Science*, v. 70, p. 814-825, doi:10.1071/CP19027.
- Lopes, L. B.; Eckstein, C.; Pina, D. S.; Carnevalli, R. A. 2016. The influence of trees on the thermal environment and behaviour of grazing heifers in Brazilian Midwest. *Tropical animal health and production*, v. 48, n. 4, p. 755-761, doi: 0.1007/s11250-016-1021-x.
- Mello, A. C.; Costa, S. B.; Dubeux Júnior, J. C.; Santos, M. V.; Apolinário, V. X.; Tenório Filho, F.; Meireles, M. S.; Pereira, C. G. 2014. Pasture characteristics and animal performance in a silvopastoral system with *Brachiaria decumbens*, *Gliricidia sepium* and *Mimosa caesalpinifolia*. *Tropical Grasslands*, v. 2, n. 1, p. 85-87.
- Mello, A. C. T. D.; Carnevalli, R. A.; Shiratsuchi, L. S.; Lopes, L. B.; Xavier, D. B. 2017. Improved grazing activity of dairy heifers in shaded tropical grasslands. *Ciência Rural*, v. 47, n. 2, doi: 10.1590/0103-8478cr20160316.
- Mendonça, R. M. A.; Leite, R. C.; Lana, A. M. Q.; Costa, J. O.; Toth, G. 2014. Parasitic helminth infection in young cattle raised on silvopasture and open-pasture in Southeastern Brazil. *Agroforestry systems*, v. 88, n. 1, p. 53-62, doi: 10.1007/s10457-013-9655-4.
- Mezzalira, J. C.; Carvalho, P. C. D. F.; Fonseca, L.; Bremm, C.; Cangiano, C.; Gonda, H. L.; Laca, E. A. 2014. Behavioural mechanisms of intake rate by heifers grazing swards of contrasting structures. *Applied Animal Behaviour Science*, v. 153, p. 1-9, doi: 10.1016/j.applanim.2013.12.014.
- Moneeb, A. H.; Aguilar-Pérez, C. F.; Ayala-Burgos, A. J.; Solorio-Sánchez, F. J.; Ku-Vera, J. C. 2019. Effect of grazing cows in an intensive silvopastoral system with *Leucaena leucocephala* on Panela cheese properties: yield, composition, fatty acid profile and sensory acceptability. *Animal Science Journal*, v. 90, n. 9, p. 1303-1312, doi: 10.1111/asj.13207.
- Nicodemo, M. L. F.; Garcia, A. R.; Porfírio-Da-Silva, V.; Paciullo, D. S. C. 2018. Desempenho, saúde e conforto animal em sistemas silvipastoris no Brasil. Embrapa Pecuária Sudeste, ISSN. 1980-6841, São Carlos, SP.
- Oliveira, M. C. D. S.; Nicodemo, M. L. F.; Gusmão, M. R.; Pezzopane, J. R. M.; Bilhassi, T. B.; Santana, C. H. Gonçalves, T. C.; Rabelo, M. D.; Giglioti, R. 2017B. Differential *Haematobia irritans* infestation levels in beef cattle raised in silvopastoral and conventional pasture systems. *Veterinary parasitology*, v. 246, p. 96-99, doi: 10.1016/j.vetpar.2017.08.020.
- Oliveira, M. D. S.; Nicodemo, M. L. F.; Pezzopane, J. R. M.; Gusmão, M. R.; Chagas, A. D. S.; Giglioti, R.; Bilhassi, T. B.; Santana, C. H.; Gonçalves, T. C.; Rabelo, M. D.; Néó, T. A. 2017A. Gastrointestinal nematode infection in beef cattle raised in silvopastoral and conventional systems in São Paulo state, Brazil. *Agroforestry Systems*, v. 91, n. 3, p. 495-507, doi: 10.1007/s10457-016-9950-y.
- Paciullo, D. S. C.; Castro, C. R. T.; Gomide, C. A. G.; Maurício, R. M.; Pires, M. D. F. Á.; Müller, M. D.; Xavier, D. F. 2011. Performance of dairy heifers in a silvopastoral system. *Livestock Science*, v. 141, n. 2, p. 166-172, doi:10.1016/j.livsci.2011.05.012.

- Paciullo, D. S. C.; Lopes, F. C. F.; Junior, J. D. M.; Viana Filho, A.; Rodriguez, N. M.; Morenz, M. J. F.; Aroeira, L. J. M. 2009. Características do pasto e desempenho de novilhas em sistema silvipastoril e pastagem de braquiária em monocultivo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 44, n. 11, p. 1528-1535.
- Paciullo, D. S. C.; Pires, M. F. A.; Aroeira, L. J. M.; Morenz, M. J. F.; Maurício, R. M.; Gomide, C. A. M.; Silveira, S. R. 2014. Sward characteristics and performance of dairy cows in organic grass-legume pastures shaded by tropical trees. *Animal*, v. 8, n. 8, p. 1264-1271, doi:10.1017/S1751731114000767.
- Santos, D. C.; Júnior, R. G.; Vilela, L.; Pulrolnik, K.; Bufon, V. B.; França, A. F. S. 2016. Forage dry mass accumulation and structural characteristics of Piatã grass in silvopastoral systems in the Brazilian savannah. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 233, p. 16-24, doi: 10.1016/j.agee.2016.08.026.
- Silva, J. A. R. D.; Araújo, A. A. D.; Júnior, L.; Brito, J.; Santos, N. D. F. A. D.; Garcia, A. R.; Nahúm, B. D. S. 2011. Conforto térmico de búfalas em sistema silvipastoril na Amazônia Oriental. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 46, n. 10, p. 1364-1371.
- Silva, J. A. R. D.; Araújo, A. A. D.; Lourenço Júnior, J. B.; Santos, N. D. F. A. D.; Viana, R. B.; Garcia, A. R.; Rondina, D.; Grise, M. M. 2014. Hormonal changes in female buffaloes under shading in tropical climate of Eastern Amazon, Brazil. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 43, n. 1, p. 44-48.
- Schütz, K. E.; Cox, N. R.; Tucker, C. B. 2014. A field study of the behavioural and physiological effects of varying amounts of shade for lactating cows at pasture. *Journal of Dairy Science*, 97, 3599-3605, doi: 10.3168/jds.2013-7649.
- Schütz, K. E.; Rogers, A. R.; Poulouin, Y. A.; Cox, N. R.; Tucker, C. B. 2010. The amount of shade influences the behavior and physiology of dairy cattle. *Journal of dairy science*, v. 93, n. 1, p. 125-133, doi: 10.3168/jds.2009-2416.
- Soca, M.; Simón, L.; Sánchez, S.; Gómez, E., 2002. Dinámica parasitológica em bostas de bovinos bajo condiciones silvopastoriles. *Agroforesteria em las Américas*, v. 9, n. 33-34, p. 38.
- Sousa, L. F.; Maurício, R. M.; Paciullo, D. S. C.; Silveira, S. R.; Ribeiro, R. S.; Calsavara, L. H.; Moreira, G. R. 2015. Forage intake, feeding behavior and bio-climatological indices of pasture grass, under the influence of trees, in a silvopastoral system. *Tropical Grasslands*, v. 3, p. 129-141, doi: 10.17138/TGFT(3)129-141.
- Souza, E. C. D.; Salman, A. K. D.; Cruz, P. G. D.; Veit, H. M.; Carvalho, G. A. D.; Silva, F. R. F. D.; Schmitt, E. 2019. Thermal comfort and grazing behavior of Girolando heifers in integrated crop-livestock (ICL) and crop-livestock-forest (ICLF) systems. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, v. 41, doi: 10.4025/actascianimsci.v41i1.46483.
- Souza, L. A. S.; Matarazzo, S. V.; Carnevalli, R. A.; Toledo, L. M. 2017. Physiological and behavioral responses of dairy heifers in an integrated-crop-livestock-forestry system. *African Journal of Agricultural Research*, v. 12, n. 15, p. 1278-85, doi: 10.5897/AJAR2016.11918.
- Sylvain, Z. A.; Wall, D. H. 2011. Linking soil biodiversity and vegetation: implications for a changing planet. *American journal of botany*, v. 98, n. 3, p. 517-527, doi: 10.3732/ajb.1000305.
- Tucker, C. B.; Rogers, A. R.; Schütz, K. E. 2008. Effect of solar radiation on dairy cattle behaviour, use of shade and body temperature in a pasture-based system. *Applied Animal Behaviour Science*, v. 109, n. 2-4, p. 141-154, doi: 10.1016/j.applanim.2007.03.015.
- Van Dijk, J.; De Louw, M. D. E.; Kalis, L. P. A.; Morgan, E. R. 2009. Ultraviolet light increases mortality of nematode larvae and can explain patterns of larval availability at pasture. *International journal for parasitology*, v. 39, n. 10, p. 1151-1156, doi:10.1016/j.ijpara.2009.03.004.
- Van Laer, E.; Moons, C. P. H.; Ampe, B.; Sonck, B.; Vandaele, L.; Campeneere, S.; Tuytens, F. A. M. 2015. Effect of summer conditions and shade on behavioural indicators of thermal discomfort in Holstein dairy and Belgian Blue beef cattle on pasture. *Animal*, v. 9, n. 9, p. 1536-1546, doi: 10.1017/S1751731115000804.
- Vieira Júnior, N. A.; Silva, M. A. D. A.; Caramori, P. H.; Nitsche, P. R.; Corrêa, K. A. B.; Alves, D. S. 2019. Temperature, thermal comfort, and animal ingestion behavior in a silvopastoral system. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 40, n. 1, p. 403-416, doi: 10.5433/1679-0359.2019v40n1p403.

Vizzotto, E. F.; Fischer, V.; Neto, A. T.; Abreu, A. S.; Stumpf, M. T.; Werncke, D., Schmidt, F. A.; Mc Manus, C. M. 2015. Access to shade changes behavioral and physiological attributes of dairy cows during the hot season in the subtropics. *Animal*, v. 9, n. 9, p. 1559-1566, doi: 10.1017/S1751731115000877.

Xavier, D. F.; Ledo, F. J. S.; Paciullo, D. S. C.; Urquiaga, S.; Alves, B. J. R.; Boddey, R. M. 2014. Nitrogen cycling in a Brachiaria-based silvopastoral system in the Atlantic forest region of Minas Gerais, Brazil. *Nutrient Cycling Agroecosyst*, v. 99, p. 45–62, doi: 10.1007/s10705-014-9617-x.

CAPÍTULO 7

ESTRESSE TÉRMICO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE RUMINANTES EM CLIMA TROPICAL

Rafael Araújo de Menezes; Matheus Anchieta Ramirez; Lúcio Carlos Gonçalves; Alan Figueiredo de Oliveira; Frederico Patrus Ananias de Assis Pires; Guilherme Lobato Menezes; Pamella Grossi de Sousa; Brisa Márcia Rodrigues Sevidanes

RESUMO

Os sistemas de produção de ruminantes no Brasil são predominantemente extensivos, caracterizados pelo uso de pastagens e pela alta exposição dos animais ao ambiente tropical. As elevadas temperaturas, a radiação solar e a alta umidade relativa do ar são os fatores climáticos que propiciam o estresse térmico por calor. Os animais de origem europeia e de alta produção são mais sensíveis a essas condições. O estresse térmico pode afetar os animais por interferir no comportamento, na fisiologia e na produtividade, o que resulta em prejuízos zootécnicos e econômicos em curto e longo prazo. O planejamento e as ações estratégicas de mitigação do estresse térmico por calor, de forma a favorecer maior conforto aos animais e minimizar as perdas produtivas, são de fundamental importância. Diferentes manejos podem ser aplicados e permitem aumentar a eficiência e a lucratividade do sistema.

INTRODUÇÃO

A globalização permite o longo alcance de tecnologias, produtos e serviços. No meio agropecuário, a globalização também possibilita o intercâmbio de animais e material genético entre diversos países. Assim, estabeleceu-se a diversificação racial de ruminantes em diferentes regiões do mundo, com importantes vantagens e desvantagens para a produção. No Brasil, a principal vantagem da importação de animais e de material genético é o maior potencial produtivo (leite, carne, lã). Entretanto, essa vantagem é inevitavelmente acompanhada da maior sensibilidade às condições climáticas e a patógenos ambientais.

O estresse térmico por calor é o principal agravo climático para os animais criados nos trópicos, uma vez que gera prejuízos de diferentes formas e intensidades. Seus efeitos são acentuados nos animais originários de regiões com clima temperado, como os bovinos *Bos taurus taurus* e caprinos do tronco europeu, embora também afetem animais de clima

tropical, como *Bos taurus indicus* e do tronco africano. Algumas raças, como a Senepol e a Caracu, tornaram-se adaptadas às condições climáticas dos ambientes tropicais.

As particularidades do sistema de produção, bem como o nível tecnológico, influenciam no quanto o estresse térmico acomete o bem-estar, a saúde e o desempenho dos animais. Por exemplo, considerando-se um mesmo local, os animais criados em pasto possivelmente serão mais afetados que animais criados em sistemas de integração sombreados devido à incidência direta dos raios solares.

Por isso, a evolução do potencial produtivo adquirido deve ser acompanhada das estratégias de mitigação do estresse térmico e de aclimação ambiental para que o investimento seja válido. Essas estratégias são fundamentais para permitir um melhor desempenho desses animais, empregando-se a eficiência e a viabilidade econômica ao sistema. Objetivou-se neste capítulo rever a literatura sobre o estresse térmico e seus impactos na produção de ruminantes em diferentes sistemas de produção.

CONCEITO DE ESTRESSE TÉRMICO

O estresse é definido como qualquer fator que ameace a condição estabelecida como confortável para o animal ou que nela interfira (Rodrigues *et al.*, 2010). Essa condição de conforto é denominada homeostase. A homeostase é a capacidade de o indivíduo manter em equilíbrio as condições de meio e os processos metabólicos do organismo, por meio de mecanismos fisiológicos de controle e de mudanças comportamentais. Segundo Bernabucci *et al.* (2010), o estresse térmico por calor pode ser definido como uma condição fisiológica em que a temperatura corporal interna de uma determinada espécie excede sua faixa especificada para atividade normal. Nessa condição, a carga total de calor endógeno e exógeno excede a capacidade de dissipação de calor, o que gera respostas fisiológicas e comportamentais para reduzir a tensão.

Logo, o conforto térmico de um animal se refere à sua condição de termoneutralidade com o ambiente, ou seja, o calor corporal perdido está em equilíbrio com o calor absorvido. Nessa condição, o indivíduo não gasta energia significativa para manter sua homeostase térmica e não requer esforços para manter normal a sua temperatura corporal. Conceitua-se, então, que o animal está em conforto térmico. Por outro lado, o estresse térmico ocorre quando há interferências que podem desequilibrar a homeostase térmica (homeotermia) do indivíduo e provocar respostas compensatórias fisiológicas e comportamentais.

O estresse térmico ocorre principalmente pelo excesso de frio, calor, por alta ou baixa umidade. Em um primeiro cenário, frio e seco, há respostas para produção de calor pelo metabolismo (termogênese), enquanto no segundo cenário, quente e úmido, há respostas para dissipação de calor (termólise). Infelizmente, os mecanismos de regulação e controle da temperatura corporal são limitados e os processos de termogênese ou termólise podem não ser suficientes para manter a homeostase compatível com as demandas produtivas e de sobrevivência. Portanto, à medida que o estresse térmico aumenta, ocorrem prejuízos produtivos, reprodutivos, fisiológicos ou até a morte. A morte de animais por hiper ou hipotermia não é um fato rotineiro. Porém, os prejuízos zootécnicos e econômicos provenientes do estresse térmico têm grande importância nos sistemas de produção, o que muitas vezes ocorre de forma imperceptível (Bezerra *et al.*, 2008).

As condições climáticas são frequentemente modificadas pela umidade relativa, pela temperatura, pelo vento e pela radiação. Quando combinados, esses fatores podem proporcionar um ambiente confortável ou estressante. Cada fator se apresenta em diferentes intensidades, com variações ao longo do tempo. O resultado da interação entre eles em um determinado momento distingue qual dos dois tipos de ambiente será experimentado pelo animal, tendo como base suas condições necessárias para homeostase. Essa percepção pode referir-se a um momento específico ou como média de um determinado período.

ABSORÇÃO E PRODUÇÃO DE CALOR PELO RUMINANTE

Calor exógeno: o ambiente pode transferir energia para o animal por meio da temperatura do ar e da radiação. Essa energia é chamada de calor exógeno. A radiação é direta quando os raios solares incidem diretamente sobre o animal, como é o caso de animais em pasto nos sistemas de pleno sol. Já a radiação indireta ocorre quando a incidência da radiação solar é refletida em corpos e direcionada ao animal.

Calor endógeno: o calor produzido e contido pelo próprio animal provém do metabolismo calórico e é nomeado de calor endógeno. Diversos processos metabólicos produzem calor endógeno, destacando-se os ciclos celulares (bomba de sódio e potássio, via glicolítica), ciclos metabólicos (principalmente ciclos hepáticos e do tecido adiposo, como gliconeogênese/glicólise e lipólise/lipogênese) e o trabalho de contração e relaxamento muscular (movimentos cardiorrespiratórios, secreção basal de glândulas exócrinas e anexas ao tubo digestivo, peristaltismo, tônus da musculatura estriada,

vasomotora) (Bianco, 2000). Nos ruminantes ainda há maior produção de calor no trato digestivo devido ao processo de fermentação ruminal dos alimentos. A quebra de moléculas durante a digestão dos alimentos, a oxidação dos açúcares, dos lipídios e das proteínas e a utilização do ATP (adenosina trifosfato – o principal composto energético das células) pelos tecidos são exemplos desses processos, nos quais a maior parte da energia contida nos substratos é perdida na forma de calor.

Entre os processos orgânicos envolvidos na geração do calor endógeno, primeiramente, é importante considerar as funções basais de manutenção, pois se referem às atividades metabólicas básicas para sobrevivência e produzem calor constantemente. Por conseguinte, o calor produzido por atividades físicas, especificamente pela contração dos músculos, se soma à manutenção, aumentando o calor endógeno total. Baseado nos princípios da termodinâmica, Bianco (2000) cita que a eficiência de trabalho de sistemas biológicos é cerca de 30%; ou seja, aproximadamente 70% da energia consumida para realizar uma simples contração muscular é perdida e liberada na forma de calor. Por fim, estágios avançados de prenhez e alta produção (carne, leite ou lã) completam o quadro de processos orgânicos importantes na geração de calor endógeno.

Visto que a camada de gordura subcutânea funciona como barreira térmica e dificulta a saída de calor, este irá se acumular no corpo do animal. Logo, os ruminantes necessitam de meios para dissipar esse calor de maneira controlada, a fim de manter sua temperatura corporal dentro dos limites fisiológicos apropriados para sua sobrevivência, bem-estar e eficiência produtiva. Para prosseguir este capítulo, devido às condições climáticas de um país tropical como o Brasil, a expressão “estresse térmico” será referida ao estresse por calor causado pela maior temperatura e/ou umidade ambiental.

MECANISMOS DE DISSIPACÃO DE CALOR

O ruminante precisa perder calor para compensar a energia naturalmente produzida pelo seu organismo para manter a homeostasia. Nesse processo, a perda de calor é feita em duas vias: perdas latentes e perdas sensíveis. As perdas latentes ocorrem por meio da evaporação da umidade pela superfície da pele e pela respiração. Em situação de estresse térmico, a ofegação (respiração com frequência aumentada) representa cerca de 22% da perda de calor latente, enquanto a maior parte dessa perda é representada pela evaporação da umidade superficial da pele (Brown-Brandl, 2018). As perdas sensíveis ocorrem por condução, convecção e radiação, as quais dependem da temperatura da superfície da pele e dos arredores, como o ar, objetos e outros corpos.

Os mecanismos de perda latente e sensível representam a resposta inicial e imediata ao estresse térmico, podendo ser acompanhados por reduções no consumo e na produção e por aumento da ingestão de água (Gaughan *et al.*, 2009). Em alguns casos, quando o estresse térmico é de intensidade leve a moderada, há modificações intracelulares nas vias sinalizadoras e reprogramação das atividades celulares para aclimatação. Em conjunto, as modificações intracelulares e os mecanismos de perda de calor geralmente são suficientes para manter a homeostase. Porém, em casos de estresse agudo ou crônico, esses mecanismos não são totalmente eficazes, demandando outras alterações fisiometabólicas para auxiliar no controle da temperatura corporal. Essas repostas ao estresse agudo são representadas pela reprogramação da expressão gênica e por maiores respostas celulares, que são mediadas, em grande parte, por proteínas de choque térmico (*heat shock protein – HSP*) (Bernabucci *et al.*, 2010).

Perdas sensíveis: processos naturais espontâneos

Os três principais mecanismos físicos de troca de calor entre o animal e o ambiente citados na literatura são: condução, convecção e radiação. Por questão didática, neste capítulo a irradiação será conceituada como a radiação emitida pelo corpo do animal.

Condução: refere-se à energia que é transferida do corpo mais quente para o mais frio por meio do contato físico. Esse processo é dependente da diferença de gradiente térmico entre os corpos e ocorre até que estes tenham a temperatura equilibrada ou que o contato físico seja interrompido. Um exemplo prático é o contato corporal de um bovino em decúbito ventral com o chão ou piso mais frio que ele.

Convecção: refere-se à energia presente na superfície corporal que é transmitida para as moléculas de gases e partículas presentes no ar, as quais se encontram em deslocamento no ambiente. Na prática, isso é popularmente chamado de ventilação, em que massas de ar (vento) passam pelo animal e recebem parte do calor contido na superfície do seu corpo.

Irradiação: refere-se à energia em forma de ondas longas – radiação infravermelha – liberada pelo corpo do animal para o ambiente. A irradiação pode ser vista e mensurada por meio de aparelhos termográficos. Do mesmo modo que os animais irradiam energia, eles também recebem calor de outros corpos que irradiam (outros animais) ou refletem a radiação (corpos inanimados) em direção ao animal.

Perdas latentes: respostas fisiológicas

Alguns parâmetros de avaliação do estresse térmico nos animais são antigos e tradicionais. O somatório das diversas pesquisas e as revisões feitas nos últimos anos permitem destacar quais são os mais usados, confiáveis e práticos. As perdas latentes são respostas fisiológicas diante do estresse térmico e serão apresentadas a seguir.

Transpiração e evaporação: as glândulas sudoríparas são estruturas exclusivas dos mamíferos e estão distribuídas em quase toda a superfície corporal deles. Essas glândulas são de origem epidérmica e têm a principal função de auxiliar na homeotermia, além de eliminar sais (cloreto de sódio, por exemplo), excessos de micronutrientes e resíduos tóxicos do organismo. Esses compostos orgânicos são secretados juntamente com fluidos à base de água, que representam a maior parcela da composição do suor. O calor contido no corpo é transferido ao suor, o qual passa da fase líquida para a gasosa e é dissipado no ambiente. O processo de secreção de suor é nomeado “transpiração”, enquanto a mudança de fase é chamada de “evaporação” e corresponde à maior perda de calor latente nos mamíferos (Baker, 2019).

Estudos relatam que o aumento da temperatura ambiente e/ou dos valores de ITU (índice de temperatura e umidade) e ITGU (índice de temperatura do globo negro e umidade) resultou na hiperativação das glândulas sudoríparas e as tornou mais superficiais na pele, o que caracteriza o pico funcional glandular (Ferreira *et al.*, 2009; Pantoja *et al.*, 2017; Brown-Brandl, 2018). A densidade de glândulas sudoríparas na pele varia de acordo com a espécie e a raça bovina. Entretanto, o tamanho, o volume e a capacidade funcional são maiores para animais *B. taurus indicus*.

A taxa evaporativa superficial da pele é dependente da temperatura e da umidade ambiental. A evaporação se inicia conforme a temperatura do ar aumenta, porém é dificultada com o aumento da umidade do ar. Logo, quanto mais seco o ambiente, mais fácil e maior será a evaporação, assim como será mais difícil e menor a evaporação superficial da pele em um ambiente úmido. Em bovinos *B. taurus taurus*, a estabilização da taxa evaporativa é frequentemente observada antes de a temperatura retal atingir 40°C, o que não parece ocorrer com *B. taurus indicus*, nos quais a taxa evaporativa aumenta sem um platô aparente. Ainda, foi observado que a taxa evaporativa em raças europeias variou de 57 g/m²/h em zona termoneutra (temperatura = 16 °C, umidade = 56%, ITU = 60) até 157 g/m²/h em zona estressante (temperatura = 36 °C, umidade = 50%, ITU = 77) (Pereira *et al.*, 2014). Maia *et al.* (2005) descreveram maior amplitude de variação da

taxa evaporativa, com máxima de 300 g/m²/h, quando a umidade relativa do ar era 30%, e mínima de 50 g/m²/h, quando a umidade se elevou para 75%.

Frequência respiratória: a contagem dos movimentos respiratórios durante o período de um minuto (mov/min) determina a frequência respiratória (FR). Esses movimentos são cíclicos e compostos por expansão das costelas e do flanco (inspiração) seguida pelo relaxamento e pela retração dessas estruturas (expiração). Em bezerros, a FR normal é 30 a 60 mov/min. Já em bovinos adultos, a FR normal é de 12 a 36 mov/min (Stöber; Terra, 1993), e, em pequenos ruminantes, de 20 a 30 mov/min. Segundo Hahn *et al.* (1997), valores de até 60 mov/min não necessariamente indicam estresse em animais adultos criados em clima tropical; de 80 a 120 mov/min são indicativos de estresse moderado; acima de 120 mov/min indicam estresse excessivo.

O quadro de ofegação é caracterizado quando a FR se torna elevada e aparente. A ofegação pode se intensificar com o aumento do estresse térmico e ser acompanhada por sialorreia, respiração com a boca aberta, protrusão da língua e estiramento do pescoço. O aumento da temperatura ambiente e o dos índices de temperatura exercem efeito linear positivo sobre a FR e foram descritos tanto em animais adultos quanto em bezerros recém-nascidos (Dado-Senn, 2020). A frequência respiratória é o primeiro sintoma visível do estresse por calor, e seu aumento ocorre antes do aumento da temperatura retal. Segundo Dalcin *et al.* (2016), a FR é o melhor parâmetro para avaliar o estresse térmico em bovinos.

As espécies e os grupos genéticos de bovinos diferem-se na intensidade de resposta quanto à frequência respiratória. Normalmente bovinos *B. taurus taurus* apresentam maior FR quando comparados a *B. taurus indicus*, ambos no mesmo ambiente. Essa diferença na FR ocorre porque essas raças indianas passaram por processo de adaptação evolutiva para ambientes quentes ao longo dos séculos. Tal fato também é verdadeiro para a proporção de genótipo europeu e indiano em raças provenientes de cruzamentos *B. taurus taurus* x *B. taurus indicus*. Esse comportamento foi evidenciado no estudo de Azevedo *et al.* (2005), em que animais 1/2, 3/4 e 7/8 Holandês x Zebu mantidos em ambiente com o mesmo ITU (85) tiveram frequências respiratórias de 86, 97 e 104 mov/min, respectivamente.

Temperatura retal: a temperatura retal (TR) é o valor da temperatura medida por um termômetro introduzido no reto do animal. A TR é a metodologia mais adequada

e usada para medir a temperatura corporal devido à praticidade, ao baixo custo e à aceitável acurácia (Lees, 2018).

Em média, em relação à temperatura corporal de bovinos em zona termoneutra (temperatura ambiente entre -10 e 25 °C para *B. taurus taurus* e entre 0 e 35 °C para *B. taurus indicus*), essa variação está entre 38,1 e 39,3 °C (Baeta *et al.*, 1997; Tripon *et al.*, 2013; Dalcin *et al.*, 2016). É importante lembrar que esses valores se referem ao intervalo de temperatura crítica em que o animal permanece em conforto térmico. Portanto, dentro dessas faixas, os valores oscilam de acordo com o genótipo e o fenótipo de cada animal.

Frequência cardíaca e vasodilatação: a frequência cardíaca (FC) pode ser medida por meio de um estetoscópio, pelo qual se conta o número de batimentos cardíacos por minuto. Os valores normais para FC (batimentos por minuto – bat/min) é de 60 a 80 em bovinos, 95 a 120 em caprinos e 90 a 115 em ovinos. Em experimentos realizados no centro-oeste e no sudeste do Brasil, animais das raças Nelore, Indubrasil e Gir manejados em pasto tiveram a FC pouco acima do limite máximo (64,11, 65,51 e 66,82 bat/min). Já os animais da raça Holandês manejados em galpão do tipo *tail stall* tiveram FC de até 78,4 bat/min (Cardoso *et al.*, 2005; Dalcin *et al.*, 2016). Esses resultados mostram que a FC faz parte do mecanismo de resposta fisiológica ao estresse causado pelo calor. Entretanto, é mais nítida em animais de raças europeias, e sua mensuração ainda é impraticável em fazendas comerciais.

Fisiologicamente, os batimentos cardíacos diminuem em ambientes de baixa temperatura devido à vasoconstrição superficial para manter a temperatura corporal e não afetar os órgãos internos. Em contrapartida, diante do aumento da temperatura, os batimentos cardíacos aumentam devido à vasodilatação periférica para maior dissipação de calor. Essa vasodilatação permite maior interação entre os vasos sanguíneos e o ambiente externo. O sangue é aquecido pela temperatura interna do corpo, passa pelos vasos que estão dilatados e mais próximos da superfície da pele e transfere sua energia para o ambiente externo em forma de calor latente. Swanson *et al.* (2020), em estudo com ovinos, demonstraram que todos os animais apresentaram pressão arterial e FC aumentadas quando submetidos ao estresse térmico. A frequência cardíaca é um parâmetro clinicamente eficiente para diagnosticar, de forma individualizada, o estresse térmico nos animais. Todavia, é pouco usual nos sistemas de produção devido a sua inviabilidade prática dado o grande número de animais nos rebanhos brasileiros.

Características da pele: além da presença de glândulas sudoríparas, algumas características da pele dos bovinos podem exercer influência no conforto térmico dos animais de forma a facilitar ou dificultar a dissipação de calor. A espessura de epiderme, a cor de pele, a quantidade de glândulas sudoríparas e o comprimento e a densidade dos pelos podem variar entre espécies, raças ou estações do ano.

Em geral, bovinos adaptados ao clima temperado, como Aberdeen Angus, Devon, Hereford, Limousin, Pardo-Suiço e Simental, possuem características comuns, podendo ter todas ou algumas delas. A pele densa aumenta o poder de isolamento térmico entre o meio interno e o externo no corpo do animal; a baixa produção de melanina na pele e os pelos escuros facilitam a absorção de radiação; pelos compridos e densos criam uma maior e mais estável camada de ar, que também funciona como barreira térmica. Em contrapartida, essas características se tornam um problema para dissipação de calor quando esses animais estiverem em condições de maiores temperatura e umidade.

No caso de animais adaptados ao clima tropical, como os das raças Nelore, Brahma, Gir, Tabapuã, Indubrasil e Guzerá, destacam-se: epiderme menos densa (devido à deposição de gordura corporal preferencialmente visceral), pele pigmentada e pelos claros e curtos, características evolutivas para dissipar o calor em ambientes quentes. A epiderme menos densa aumenta a transferência de calor do corpo para o ambiente; a pele pigmentada e os pelos claros refletem e evitam a absorção de radiação; os pelos curtos permitem maior exposição da superfície da pele e maior capacidade de perder calor por perdas sensíveis e evaporação superficial da pele (Cardoso *et al.*, 2015; Pantoja *et al.*, 2017).

CONSEQUÊNCIAS FISIOLÓGICAS

Quando o estresse térmico persiste por um longo período (dias ou semanas), mudanças fisiológicas e metabólicas ocorrem a fim de melhorar a eficiência termorregulativa. Essas mudanças são passíveis de prejuízos na produção, perda de peso e menor escore de condição corporal (ECC). Em situações de estresse crônico (um mês ou mais), tais alterações podem ocasionar doenças metabólicas graves, como esteatose hepática, acidose, problemas de subfertilidade, imunossupressão, desidratação e desnutrição (Slimen *et al.*, 2015).

Imunidade

O estresse térmico leva à imunossupressão por meio da estimulação dos eixos hipotálamo-pituitária-adrenal (HPA) e simpático-adrenal-medular (SAM). Há grande liberação de glicocorticoides e supressão de mediadores inflamatórios, como citocinas e quimiocinas (Bagath *et al.*, 2019). Além disso, interfere na transcrição gênica e nos processos de desenvolvimento celular.

O comprometimento da imunidade pode propiciar uma série de doenças, não somente em curto, mas também em médio e longo prazo. A maior vulnerabilidade a doenças infecciosas converge para propensão a doenças sistêmicas referentes aos tratos respiratório (pneumonias), reprodutivo (retenção de placenta e metrite), digestivo (acidose ruminal, endoparasitas), aos sistemas locomotor (laminites), tegumentar (dermatites, papilomatose), além dos sistemas nervoso (raiva, encefalites por herpesvírus), sanguíneo (babesiose, anaplasmose) e endócrino, sobretudo na glândula mamária (mastite) (Tao e Dahl, 2013).

Colostro

A produção de colostro na glândula mamária de bovinos ocorre principalmente na última quinzena de gestação. O colostro é o primeiro alimento oferecido ao bezerro pela vaca, por meio das primeiras amamentações e é fonte de gordura e imunoglobulinas (IgG, IgM e IgA). Uma vez que a placenta impede a passagem de imunoglobulinas para o feto durante a gestação, o colostro representa a primeira e principal fonte de imunidade para neonatos, além de fornecer energia para funções basais e termólise. As imunoglobulinas presentes no colostro são aquelas produzidas pela vaca e liberadas na sua corrente sanguínea. As vacas em período de transição que passam por estresse térmico podem comprometer tanto a sua própria imunidade quanto a do seu bezerro, o que é ocasionado pela baixa qualidade do colostro e ineficiente transferência de imunidade passiva. Isso foi evidenciado nos estudos de Tao e Dahl (2013) e Dado-Senn (2020), em que os bezerros de vacas leiteiras que passaram por estresse térmico no período seco tiveram menor concentração de IgG sérico (após colostragem), menor desenvolvimento do trato intestinal, menor função de células imunológicas e maior suscetibilidade a doenças.

Comportamento

As mudanças comportamentais, como taquipneia, sudorese, hipertermia, redução do consumo e aumento do ócio em pé, expressam o desconforto dos animais e são as

primeiras respostas adaptativas de bovinos para dissipar a carga de calor (Shilja *et al.*, 2016). Pode-se observar ainda vocalização angustiante e desconforto posicional, competitividade e agressividade (Polsky, 2017). Esses são os primeiros e mais visíveis indicadores de estresse térmico, seguidos da queda de desempenho produtivo (para tal, é necessária a adequada coleta de dados e monitoramento dos índices zootécnicos na fazenda).

Infelizmente, a observação, apenas, das mudanças comportamentais pode ser um diagnóstico tardio. Muitas vezes, as alterações metabólicas, celulares e até genéticas já se fazem presentes, principalmente em sistemas de criação em pasto e com animais de corte, onde a observação próxima e individual dos animais é rara e até mesmo inviável. Na criação de animais leiteiros em pasto, os períodos de ordenha e a observação de cio permitem maior interação com os animais, melhor observação do comportamento e do desempenho. Embora esse fato torne o diagnóstico mais eficiente, deve-se considerar que esses animais passam a maior parte do dia distantes, e muitas vezes as expressões dos sinais não são vistas.

Na tentativa de reduzir os efeitos causados pela incidência direta da radiação solar, os animais buscam a sombra em ambientes protegidos, como debaixo de árvores, arbustos, sombrites ou outro tipo de cobertura. Curtis *et al.* (2017) mostraram o nítido aumento da frequência de procura por sombras em resposta ao aumento da temperatura e à incidência de radiação solar em vacas leiteiras criadas em pasto. Como a sombra propicia um ambiente de melhor conforto térmico, o animal sob estresse evita sair da área sombreada e aumenta significativamente seu tempo ocioso.

O ócio é uma estratégia de reduzir a produção de energia corporal, pois a simples movimentação contribui para o aumento do calor endógeno. Estudos apontam que, no tempo ocioso, tanto bovinos adultos quanto bezerros gastam menos tempo deitados e mais tempo em pé (Silanikove, 2000; Darcan *et al.*, 2008; Provolo e Riva, 2009; Tripon *et al.*, 2013). Geralmente os bovinos se comportam dessa forma com o intuito de redirecionar seus corpos em posições diferentes para evitar a intensa e constante radiação proveniente do sol e do chão. Além disso, nessa posição é possível maior dissipação de calor por irradiação e convecção (Sejian *et al.*, 2017).

A redução do consumo é marcante no estresse térmico. Estudos recentes demonstraram que a temperatura ambiental elevada reduziu a ingestão de matéria seca em bezerros (Dahl *et al.*, 2019; Dado-seen *et al.*, 2020), bovinos de corte (Brown-Brandl *et al.*, 2018), bovinos de leite (Collier *et al.*, 2017; Fan *et al.*, 2019), ovinos (De *et al.*,

2017), caprinos (Shilja *et al.*, 2016), suínos (Cervantes *et al.*, 2018) e aves (Bahry *et al.*, 2018). A queda no consumo voluntário dos bovinos foi percebida por meio de monitoramento do consumo de matéria seca (individual ou por lote), aumento de sobras no cocho e menores períodos de pastejo e ruminação (Valente *et al.*, 2015; Curtis *et al.*, 2017). Ferrazza *et al.* (2017) estimaram que vacas expostas a ITUs maiores que 75 apresentavam consistentemente menor consumo de matéria seca após o terceiro dia.

Simultaneamente à ativação dos mecanismos de perda de calor e de queda do consumo, a frequência de visitas ao bebedouro e a ingestão de água aumentaram em várias espécies domésticas nos meses mais quentes do ano (Valente *et al.*, 2015; Shilja *et al.*, 2016). A maior frequência de visitas aos bebedouros e o consumo de água podem ser explicados pela constante perda hídrica nos processos de dissipação de calor. Contudo, o consumo de água pode ser evitado quando bebedouros estão distantes, pois isso acarreta maior esforço para deslocamento.

Estudos com vacas secas demonstraram que o estresse térmico causa lesões mamárias (Tao *et al.*, 2011; Tao e Dahl, 2013). Embora a taxa de apoptose das células da glândula mamária tenha sido semelhante entre animais com e sem estresse térmico, os autores observaram que, nas vacas estressadas, a proliferação celular foi menor. Isso remete ao desenvolvimento inadequado da glândula mamária e a prejuízos produtivos na lactação subsequente.

Até mesmo fetos que sofreram estresse térmico no terço final de gestação podem ter o desenvolvimento da glândula mamária afetado e com risco de perdurar até a segunda lactação. O menor desempenho produtivo desses animais foi descrito por Skibieli *et al.* (2018) e associado a alterações morfológicas caracterizadas predominantemente por menor número de alvéolos e maior quantidade de tecido conectivo na glândula mamária.

Animais de raças adaptadas ao clima tropical se mostram mais resistentes ao estresse causado pela incidência solar. Por isso, demonstram mudanças comportamentais de maneira atenuada, o que resulta em maiores conforto, tempo de pastejo e ruminação diária (Sejian *et al.*, 2018).

As alterações comportamentais e fisiológicas ocasionadas pelo estresse térmico crônico convergem para o declínio na *performance* dos bovinos, prejudicando majoritariamente os índices produtivos e reprodutivos. Esses índices se comportam como interface entre a saúde dos animais e seu retorno financeiro. A saúde e o conforto do rebanho são diretamente relacionados com a produção e a reprodução, que, por sua vez,

estão diretamente relacionadas aos índices financeiros e à viabilidade econômica do sistema.

CONSEQUÊNCIAS PRODUTIVAS

Em situações em que há excesso de calor corporal, o animal aumenta o metabolismo basal e o requerimento energético por meio dos mecanismos fisiológicos de termorregulação. O requerimento por energia para manutenção pode aumentar em até 25% (NRC, 2001) em caso de estresse crítico. À medida que a energia de manutenção aumenta, menos energia é destinada à produção e à reprodução. Este é o principal mecanismo relacionado ao baixo rendimento dos animais acometidos pelo estresse térmico.

Além do menor aporte nutricional para a produção, a inibição da síntese de proteínas e o catabolismo proteico aumentado reduzem progressivamente o ganho de massa muscular. Especialmente em gado de corte, cuja finalidade é produzir carne, as perdas produtivas podem ser observadas no ganho de peso médio diário (GMD) indesejável, na maior duração da estação de monta, na taxa de prenhez reduzida, nos menores pesos ao nascimento, na desmama e no abate, na baixa conversão alimentar, no crescimento lento e limitado, entre outros.

O balanço energético negativo (BEN) e a mobilização de gordura corporal durante o estresse térmico potencializam os prejuízos no crescimento e no ganho de peso dos animais. Baumgard *et al.* (2013) citam que vacas da raça Holandês com balanço energético negativo submetidas ao estresse térmico tiveram restrição de 30 a 40% na ingestão de nutrientes e perdas de 40 kg de peso corporal comparadas com aquelas que não foram submetidas ao estresse térmico.

A qualidade da carcaça pode ser afetada de diferentes maneiras. Os músculos podem continuar sofrendo efeitos do estresse térmico mesmo após o abate do animal. Em animais em terminação sob estresse térmico, o organismo passa por um processo de desidratação e quebra do glicogênio muscular, de forma a aumentar a glicogênese e causar produção de ácido láctico nos músculos. A glicogênese favorece a maior deposição de gordura visceral ao invés da deposição subcutânea, e o ácido láctico favorece um pH mais ácido na musculatura. Quando a gordura subcutânea é pouca e a carcaça não tem adequado acabamento de gordura (menos de 3 mm de espessura), a carne fica mais exposta ao frio durante sua maturação no frigorífico e suas fibras são encurtadas. Esse processo é denominado *cold shortening* e é responsável por aumentar a dureza da carne. Além disso, o estresse térmico agudo no pré-abate esgota as reservas de glicogênio

muscular e leva à baixa produção de ácido lático na glicólise anaeróbia. Logo, o pH não decresce adequadamente, o que causa o escurecimento e o enrijecimento da carne, características também indesejáveis para a comercialização (Jorquera-Chavez *et al.*, 2019).

Quando se trata de gado leiteiro, o primeiro e principal prejuízo produtivo a se pensar é a diminuição da produção de leite. Um dos motivos que enfatiza tal prejuízo é a rápida perda financeira percebida pelos produtores. Embora a diminuição imediata da produção seja visível e chamativa, não se devem negligenciar as demais consequências do estresse térmico, como o menor crescimento dos bezerros, a menor fertilidade do rebanho, a maior incidência de doenças e de gastos com medicamentos.

A mastite, as doenças clínicas, a dieta desbalanceada ou o pasto inadequado são problemas reais e atribuídos rotineiramente pelos produtores como causas da queda de produção em fazendas leiteiras. Porém, é incomum ouvir sobre as perdas na produção de leite devido ao estresse térmico. Essa consideração torna-se ainda mais relevante em sistemas de pastejo em que os animais ficam expostos ao ambiente quente e à radiação.

O estresse térmico durante a gestação provoca alterações no desenvolvimento e na fisiologia da placenta. Tao *et al.* (2013) relatam menor nível de hormônios estimuladores da placenta e menor quantidade e concentração de DNA, RNA e proteínas presentes nela. Isso foi relacionado com o menor número de células e peso de placenta, menor vascularização e fluxo sanguíneo. Como consequência, o feto tem o aporte reduzido de nutrientes, hormônios e oxigenação. Ouellet *et al.* (2020), em trabalho com vacas em estresse térmico no pré-parto, constataram redução da concentração de sulfato de estrona na circulação materna. O sulfato de estrona é um hormônio estrogênico conjugado proveniente dos tecidos fetais e da placenta. Essa redução foi relacionada com prejuízos na função placentária e com desenvolvimento fetal prejudicado. Somado à possível temperatura fetal maior que a temperatura corporal da mãe (pois a taxa metabólica do feto é duas vezes maior), o útero se torna um ambiente inadequado por acúmulo de calor e os efeitos serão percebidos após o parto.

O adiantamento do parto é uma consequência comum em fêmeas sob estresse calórico no final da gestação. Com isso, tecidos fetais podem não ter seu completo desenvolvimento até o parto, como os órgãos linfóides e o trato gastrointestinal. A glândula mamária fetal subdesenvolvida é diretamente relacionada ao baixo rendimento das lactações futuras (Tao *et al.*, 2013; Skibieli *et al.*, 2018). Essas alterações no ambiente

uterino e no período gestacional podem explicar a *performance* ruim de bezerras e novilhas com boa linhagem genética e com potencial produtivo.

Monteiro *et al.* (2016) avaliaram a sobrevivência, o crescimento, a fertilidade e a produção de leite de vacas que foram resfriadas ou não (condição de estresse térmico) durante as últimas seis semanas de gestação. Como esperado, as bezerras filhas de vacas estressadas pelo calor tiveram menores pesos ao nascimento (39,1 kg *vs.* 44,8 kg) e ao primeiro ano de idade (305,8 kg *vs.* 299,1 kg). A proporção de novilhas que chegaram mais cedo à primeira lactação bem como a produção de leite foi maior para as filhas de vacas resfriadas (85,4% *vs.* 65,9% e 31,9 kg/dia *vs.* 26,8 kg/dia, respectivamente).

CONSEQUÊNCIAS REPRODUTIVAS

Para a maioria das regiões do Brasil, quase todos os dias de verão são quentes o bastante para comprometer a reprodução (Vasconcelos e Demetrio, 2011). Os oócitos podem ser afetados pelo estresse térmico a partir do momento em que a temperatura corporal da fêmea pós-púbere se eleva. Estima-se que o aumento de 0,5 °C acima da temperatura uterina fisiológica é suficiente para iniciar o declínio da fertilidade (Gwazdauskas *et al.*, 1973).

O excesso de calor na fêmea púbere pode afetar seu ciclo estral desde a foliculogênese até o estágio pré-ovulatório. A ovulação ocorre quando há alta concentração de estrógeno liberado pelo folículo pré-ovulatório e picos do hormônio luteinizante (LH). Logo, a interferência no eixo hipotálamo-pituitária-gonadal (HPG) e os baixos níveis do LH e do hormônio folículo estimulante (FSH) comprometem o desenvolvimento dos folículos e a produção de estrógeno (Rocha *et al.*, 2012). As alterações na circulação hormonal de FSH e estrógenos, como o 17 β -estradiol, desfavorecem o ambiente da tuba uterina ou do útero para a formação, a implantação e o crescimento embrionário (Sakatani *et al.*, 2012; Hansen, 2019). A ovulação de um folículo de baixa qualidade compromete a formação de um corpo lúteo adequado, bem como sua produção de progesterona e a manutenção da gestação, o que pode aumentar a taxa de absorção embrionária.

A queda da fertilidade encontrada nos rebanhos nos meses mais quentes do ano se deve, em grande parte, à baixa competência dos oócitos (Rocha *et al.*, 2012). O estresse térmico crônico acarreta menor diâmetro do folículo dominante e alterações bioquímicas no microambiente folicular caracterizado por menor presença de ácidos graxos, colesterol

e estrógenos (Shehab-El-Deen *et al.*, 2010). Baixos níveis de FSH e LH afetam a seleção de um folículo dominante e a produção de inibina, hormônio liberado por este folículo, que gera atresia de todos os outros para que este se desenvolva até o estágio de pré-ovulação. Sem uma dominância folicular efetiva, o ovário comporta maior quantidade de folículos grandes, o que leva ao maior tempo de dominância do folículo pré-ovulatório e ao seu envelhecimento. Essas alterações hormonais e foliculares aclaram a probabilidade de a ovulação falhar, mesmo com a aplicação de fármacos análogos do hormônio liberador de gonadotropinas (GnRH) (Hanses, 2019).

Como resultado do comprometimento folicular, há baixa liberação e concentração de estrógenos no sangue. Isso pode acarretar maior ocorrência de cio silenciosos ou discretos e redução da taxa de detecção de cio (Rocha *et al.*, 2012). A coloração mais forte da mucosa vaginal, o corrimento de muco vaginal translúcido pela vulva e a expressão da receptibilidade à monta são alguns sinais característicos de cio que se atenuam em fêmeas de ruminantes conforme o aumento do estresse térmico.

As maiores taxas de prenhez são descritas em fazendas que adotam estratégias de mitigação do estresse térmico, como sombreamento e resfriamento para os animais, e não apenas estratégias reprodutivas, como protocolos de inseminação artificial ou de transferência de embrião (Carvalho *et al.*, 2018). Assim, fica evidente a importância do conforto térmico para alcançar a eficiência reprodutiva e os índices zootécnicos da propriedade.

ESTRATÉGIAS PARA PRODUÇÃO DE RUMINANTES SOB CONDIÇÕES DE ESTRESSE TÉRMICO

Como visto, o estresse térmico afeta negativamente a fisiologia, o comportamento e a *performance* dos animais. Essas alterações são marcadas pela expressão dos mecanismos de dissipação de calor, da queda do consumo, do menor crescimento e dos prejuízos na produção e reprodução. Isso é convertido em prejuízos zootécnicos (depreciação do potencial genético dos animais) e financeiros. Por isso, é fundamental que fazendas de criação de ruminantes, especialmente as que são baseadas no pastejo, adotem estratégias para reduzir o estresse térmico experimentado pelos animais e melhorar a eficiência do sistema.

Atualmente, são descritas três estratégias principais para reduzir o estresse térmico experimentado pelos animais:

1. Modificação física do ambiente;
2. Adoção de práticas de manejo;
3. Desenvolvimento genético de animais tolerantes.

Essas estratégias podem ser adotadas em qualquer tipo de sistema de criação de ruminantes. Independentemente do poder de investimento, esses sistemas podem reduzir os prejuízos comuns em regiões de clima tropical de acordo com suas limitações e facilidades.

Modificação física do ambiente

A modificação do ambiente objetiva reduzir a incidência de calor exógeno sobre o animal, por meio do fornecimento de sombra, ventilação e pulverização. Existem diversas construções e equipamentos que atendem ao objetivo, em níveis diferentes de custo e eficiência. A fim de expor a viabilidade dessa estratégia em fazendas leiteiras de diferentes regiões dos EUA, Gunn *et al.* (2019) avaliaram o custo-benefício da implantação de quatro níveis de investimento (baixo, médio, alto e intenso) em infraestrutura que minimize o estresse térmico nos animais. Cada nível de investimento possuía:

- baixo: sombreamento no piquete ou galpão coberto com laterais abertas (ventilação natural e bloqueio dos raios solares) e bebedouros com água fresca;
- médio: sistema de ventiladores em galpão coberto com laterais abertas ou exaustores em galpão fechado (ventilação forçada) e bebedouros com água fresca;
- alto: semelhante ao médio investimento, com adição de aspersores de água (pulverização);
- intenso: galpão fechado com ar-condicionado ou sistema de resfriamento evaporativo de alta pressão.

O custo-benefício foi calculado considerando-se a inflação, a depreciação e demais custos ligados ao investimento. Em todas as regiões avaliadas, os quatro níveis resultaram em redução do ITU experimentado pelos animais, com significativo alívio ao estresse térmico e menores perdas produtivas. Os níveis de investimento baixo, médio e alto tiveram a produção de leite anual aumentada em 3, 8 e 21%, respectivamente. Fazendas que adotaram o baixo investimento aumentaram a produção de leite em até 5 kg/vaca/dia, equivalente a 1.500 kg/vaca/ano. Aquelas fazendas que adotaram os maiores níveis de investimento alcançaram melhor custo-benefício e maior retorno financeiro. Por exemplo, a adoção do alto investimento permitiu um lucro de até \$190,00 por vaca; já a

adoção do investimento intenso gerou lucros entre \$20,00 e \$590,00 por vaca, sem indício de prejuízo. Os autores concluíram que o custo-benefício geralmente aumenta conforme maior for o nível de investimento.

Ruminantes em lactação naturalmente possuem maior produção de calor endógeno, e o deslocamento de ida e volta à sala de ordenha é um agravante. Sabe-se que a ocitocina, hormônio que contrai a musculatura da glândula mamária e promove secreção do leite, é inibida pelo cortisol em situação estressante ocorrida antes da ordenha. Portanto, vacas em estresse térmico pré-ordenha podem ter a liberação de leite inibida. A aclimatização na sala de ordenha pode ser uma boa tática para reduzir o estresse e proporcionar a secreção de leite pelos animais. Segundo Almeida (2011), 30 minutos de aclimatação no curral de espera, com uso de ventiladores e nebulizadores, proporcionaram aos animais (7/8 Gir x Holandês) valores adequados de ITU, ITGU e parâmetros fisiológicos (FR, TR e temperatura de pelame), além de aumentar a produção de leite em 4,4%. Baseados nos parâmetros fisiológicos e comportamentais, Schültz *et al.* (2011) demonstraram que vacas leiteiras preferiram se acomodar sob a sombra a se acomodar sob sistema de pulverização (sem sombra) após caminharem de 0,3 a 2 km até a sala de ordenha, no período da tarde. Isso mostra que, embora a pulverização seja uma ferramenta para melhorar o conforto térmico, o fornecimento de sombra é primário e indispensável, tanto no curral de ordenha quanto no pasto.

Em sistemas de criação de ruminantes em pasto para produção de carne, o sombreamento é uma das poucas ferramentas eficientes usadas para mitigar o estresse por calor. A sombra pode reduzir até 30% da carga de calor radiante (Ulvshammar, 2014). Em experimento com ovinos, Caroprese *et al.* (2012) demonstraram que houve menor mobilização de gordura, menor índice de ácidos graxos não esterificados (NEFA) circulantes e melhor condição de escore corporal, em comparação com os animais alocados em piquetes sem sombra.

O sombreamento pode ser natural ou artificial. Karvatte *et al.* (2016) avaliaram o efeito do sombreamento natural no microclima de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) no estado do Mato Grosso do Sul, Brasil. Os sistemas de pastejo eram formados por pasto de *Urochloa brizantha* cv. BRS Piatã e árvores de espécies nativas ou eucaliptos plantados em diferentes densidades. Os sistemas de ILPF geraram melhor microclima aos animais, pois reduziram o ITU em 3,7%, o ITGU em 10,2% e a carga térmica radiante (CTR) em 28,3%. Independentemente do tipo de sistemas utilizado, aqueles que tiveram disposição espacial arbórea menos densa propiciaram

melhor microclima, por permitirem maior circulação do vento, menor temperatura do ar, menor umidade e menor ITGU.

O tipo de estrutura e material usado para fazer o sombreamento, bem como o tempo e os recursos gastos, varia de acordo com a disponibilidade de capital, de mão de obra e a necessidade. Nos trópicos, o planejamento de um sombreamento eficaz e resistente, embora dispendioso, é uma opção inteligente para mitigar o estresse térmico sofrido pelos animais a pasto. Já em regiões subtropicais, ondas de calor podem surgir rapidamente, e um sombreamento feito de forma rápida e simples pode fazer a diferença para proteger os animais e evitar grandes prejuízos.

Kamal *et al.* (2016a, 2016b, 2018) avaliaram diferentes tipos de materiais para sombreamento (árvores, sombrite, amianto+lona e palha) de bezerros de corte. Os autores perceberam que os animais tiveram maiores tempos de consumo, descanso e ruminação debaixo de sombrite, seguido pelas árvores, pela palha e pelo amianto+lona. Ainda, passaram mais tempo próximos ao bebedouro e em pé, debaixo do ambiente com amianto+lona, seguido pela cobertura de palha, árvores e sombrite. Esses resultados evidenciam que o sombrite proporciona melhor conforto para os bezerros e reflete na mitigação dos efeitos negativos causados pelo estresse térmico, seguido por arborização, cobertura de palha e, por último, amianto+lona.

Adoção de práticas de manejo

Algumas práticas de manejo podem ser aplicadas de forma estratégica para reduzir a produção de calor endógeno, melhorar a conversão alimentar e a imunidade. No experimento de Caroprese *et al.* (2012) exposto anteriormente, os ovinos foram alimentados com feno e concentrado peletizado e foram divididos em dois grupos, com ou sem adição de sementes de linhaça na dieta (21% em substituição do concentrado). O grupo que se alimentou de sementes de linhaça apresentou menor FR e TR e maior índice sérico de imunoglobulina G. Segundo os autores, a dieta contendo sementes de linhaça, rica em ômega-3, melhorou a imunidade e a termorregulação dos animais. Outra linha de pesquisa que visa à melhoria da imunidade de ruminantes em estresse térmico é o uso de GABA (ácido gama-aminobutírico). Cheng *et al.* (2016) experimentaram o uso de GABA protegido da degradação ruminal nas doses de 40, 80 e 120 mg/kg MS na dieta de vacas em lactação. As respostas para TR e concentração sérica de interleucinas (IL-2, IL-4 e IL-6) e o fator de necrose tumoral alfa (TNF- α) diminuiriam linearmente, enquanto a concentração sérica de imunoglobulina A (IgA), de imunoglobulina G (IgG), de linfócitos

T e a capacidade antioxidante aumentaram linearmente com o aumento da dose de GABA na dieta. Essa observação indica que o fornecimento de GABA protegido na dieta melhora a função imunológica e a atividade antioxidante.

O rebalanceamento de dietas durante períodos de elevadas temperaturas e umidade, como no verão tropical, pode ser usado a favor da redução do estresse por calor. Segundo Rhoads *et al.* (2013), uma boa parte da perda produtiva, cerca de 35 a 50%, em ruminantes sob estresse térmico, pode ser recuperada com o manejo nutricional. Em revisão feita por Conte *et al.* (2018), mostrou-se que alguns artifícios podem ser usados em ruminantes leiteiros para mitigar o estresse térmico. Entre esses artifícios, o principal é reduzir cuidadosamente a proporção de volumoso na dieta e aumentar a de concentrado, respeitando-se os limites mínimos de FDN (fibra insolúvel em detergente neutro - 28%), FDA (fibra insolúvel em detergente ácido - 18%) e FDNfe (fibra fisicamente efetiva - 20%). Esse adensamento energético visa reduzir a produção de calor endógeno e aumentar o consumo de energia pelo animal, de forma a compensar a queda do consumo e o aumento das exigências de manutenção.

A suplementação com gordura segue o princípio de que lipídios são fontes mais ricas em energia e sua digestão produz menos calor que os carboidratos. Porém, a indicação do uso em animais em estresse calórico é divergente na literatura. Conte *et al.* (2018) indicaram a suplementação de gordura em casos extremos, em que é necessário adensar ainda mais a energia da dieta e reduzir a produção de calor endógeno, por meio do uso de gordura protegida, respeitando-se os limites de inclusão para não exercer danos à microbiota ruminal. O uso de aditivos como prática complementar pode ocorrer por meio da suplementação de vitaminas e minerais antioxidantes (Vit. A, C e E; selênio), leveduras, bicarbonato e probióticos. As substâncias antioxidantes e a associação de levedura e selênio têm função de reduzir o estresse oxidativo. Ferraretto *et al.* (2012) relataram aumento na digestibilidade dos nutrientes, na capacidade de tamponamento ruminal e na eficiência alimentar de vacas leiteiras suplementadas com células vivas de levedura. A suplementação com bicarbonato é indicada em casos de acidose compensatória à alcalose respiratória, pois serve como substância tampão para o rúmen e ajuda no equilíbrio ácido-básico do sangue. Por fim, os probióticos auxiliam na resposta inflamatória, bem como na integridade e eficiência da barreira intestinal, prevenindo a presença de lipopolissacarídeos (LPS) na corrente sanguínea.

Desenvolvimento genético de animais tolerantes

Um dos princípios para melhorar o bem-estar e a produtividade dos rebanhos criados nos trópicos é a identificação de animais tolerantes ao estresse térmico e, num passo adiante, propagar suas características adaptativas para os demais (animais mais resistentes). Isso pode ser feito por meio da seleção e de acasalamentos de reprodutores tolerantes e da manipulação genética. Essa manipulação tem ganhado importância nos últimos anos pelo potencial de discriminação e replicação de genes ligados à tolerância ao estresse térmico.

Garner *et al.* (2016), em estudo feito com vacas Holandês alocadas em câmaras climáticas, segregaram os animais quanto à susceptibilidade ou à tolerância ao estresse térmico a partir de previsões feitas por meio da avaliação genômica de cada um deles. Os autores perceberam que os animais mais tolerantes ao estresse térmico tiveram maior eficiência em dissipar calor, mantiveram os outros parâmetros fisiológicos mais próximos da normalidade e produziram mais leite. Ainda foi identificado que estes animais apresentaram maior vasodilatação e capacidade de irradiação, menor FR e maior consumo. Essas características adaptativas podem ser atribuídas à presença de genes ou à diferenciada expressão deles no DNA de animais mais tolerantes.

Hamblen *et al.* (2018) avaliaram a relação entre o tipo de pelagem, o peso corporal e o temperamento de novilhas da raça Brangus criadas a pasto. Em 1 hora após o aumento do ITU, todos os animais apresentaram resposta, com aumento da temperatura vaginal. Os animais mais calmos apresentaram menores valores de temperatura vaginal e menor taxa de transpiração que os demais. Foi significativamente correlacionada a menor elevação da temperatura corporal para os animais de maior peso, mais calmos e de pelagem curta e lisa. O maior peso corporal está associado ao menor estresse desses animais, que possuíram melhor conversão alimentar. Portanto, selecionar ruminantes de corte para características de temperamento, pelagem e conversão alimentar é uma estratégia para obter um rebanho mais adaptado às condições tropicais.

Logo, é perceptível que os animais mais tolerantes ao estresse térmico possuem características fenotípicas semelhantes que os diferem de animais mais sensíveis. Essas características são originárias da expressão de genes específicos ligados à tolerância térmica presente no DNA dos animais mais tolerantes. Assim, uma proposta de melhoramento genético para obtenção de animais mais tolerantes nos rebanhos nacionais se baseia em isolar esses genes e inserir no DNA de animais sensíveis, por meio de

técnicas inovadoras utilizadas pela engenharia genética. O haplótipo *slick*, (significa “liso”, traduzido para o português) foi reconhecido originalmente na raça Senepol como um gene dominante, que confere pelagem lisa e curta e está associado à maior tolerância a ambientes quentes. Atualmente, esse gene já foi introduzido em animais da raça Holandês com resultados promissores. Dikmen *et al.* (2014) compararam um grupo de vacas Holandês que apresentava fenótipo *slick* com outro grupo que não apresentava e constataram que vacas *slick* tiveram menor temperatura vaginal, menores TR e FR e maior taxa de transpiração nos dias de verão. Também foi comparada a *performance* das vacas paridas no inverno com a das paridas no verão. Os autores observaram que as vacas paridas no verão tiveram menor produção nos 90 primeiros dias de lactação e, entre elas, as que possuíam fenótipo *slick* tiveram a produção superior. A conclusão do estudo foi que o gene *slick* conferiu superior habilidade de termorregulação e menor queda na produção de vacas Holandês durante o verão.

As descobertas acerca do importante papel que as HSPs (proteínas de choque térmico) desempenham na regulação das respostas fisiológicas perante situações de estresse térmico representam uma gama de oportunidades para estudos e desenvolvimento de tecnologias focadas na maior tolerância dos animais e, conseqüentemente, no maior retorno produtivo e financeiro nos sistemas de criação de ruminantes. Entre esses estudos, a associação entre os genes envolvidos na expressão das HSPs e a capacidade adaptativa das espécies domésticas mostra-se correlacionada com a produtividade individual e coletiva dos animais. Muitos estudos têm demonstrado que HSP90 e HSP70 têm grande associação com as atividades de proteção celular e desempenho produtivo, como o peso de desmame e a taxa de prenhez (Banks *et al.*, 2007; Starkey *et al.*, 2007).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estresse térmico causado pelo calor é um problema comum em regiões de clima tropical, onde fatores ambientais interferem na homeostase do organismo animal. Seus efeitos deletérios à saúde, ao bem-estar e à *performance* variam de acordo com a intensidade e o período de exposição, com o fenótipo do animal, o nível de produção e o estágio fisiológico. Os prejuízos podem ser pouco perceptíveis em curto prazo, mas seu resultado acumulativo assume importância conforme aumenta o período avaliado e o número de animais afetados.

As estratégias de mitigação do estresse térmico podem ser adotadas em qualquer sistema de produção. Fornecer infraestrutura de sombreamento e aclimatação demonstrou

ser uma prática eficaz e imprescindível nos sistemas de produção de ruminantes em clima tropical. Todas as práticas de condicionamento térmico foram positivamente relacionadas com o maior conforto e a produção dos animais. O custo-benefício dessas práticas tende a ser proporcional ao nível de investimento.

As estratégias de manejo nutricional, assim como a aquisição de animais transgênicos, podem ser usadas como práticas complementares à estratégia de aclimatização.

As estratégias de mitigação do estresse térmico permitem a produção sustentável de ruminantes em clima tropical e minimizam os prejuízos produtivos e financeiros em longo prazo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adams, A. E.; Olea-Popelka, F. J.; Roman-Muniz, I. N. 2013. Using temperature-sensing reticular boluses to aid in the detection of production diseases in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, v. 96 n. 3. p. 1549–1555. doi: 10.3168/jds.2012-5822.
- Alamer, M. 2011. The role of prolactin in thermoregulation and water balance during heat stress in domestic ruminants. *Asian Journal of Animal and Veterinary Advances*, v. 6, p. 1153–69.
- Almeida, G. L. P.; Pandorfi, H.; Guiselini, C.; Henrique, H. M.; Almeida, G. A. P. 2011. Uso do sistema de resfriamento adiabático evaporativo no conforto térmico de vacas da raça Girolando. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 15, n. 7, p. 754–760.
- Andrade, M. E. R.; Araujo, R. S.; Barros, P. A. V.; de Soares, A. D. N.; Abrantes, F. A.; Generoso, S. V.; Fernandes, S. O. A.; Cardoso, V. N. 2015. The role of immunomodulators on intestinal barrier homeostasis in experimental models. *Clinical Nutrition*, v. 34, p. 1080–1087.
- Armstrong, D. 1994. Heat stress interaction with shade and cooling. *Journal of dairy science*, v. 77, n. 7, p. 2044–2050. doi: 10.3168/jds.s0022-0302(94)77149-6.
- Arumugam, R.; Horowitz, E.; Noland, R. C.; Lu, D.; Fleenor, D.; Freemark, M. 2010. Regulation of islet b-cell pyruvatemetabolism: interactions of prolactin, glucose, and dexamethasone. *Endocrinology*. v. 149, p. 5401–14 139.
- Auclair-Ronzaud, J.; Benoist, S.; Dubois, C.; 2019. Frejaville, M.; Jousset, T.; Jaffrézic, F.; Wimmel, L.; Chavatte-Palmer, P. No-contact microchip monitoring of body temperature in yearling horses. *Journal of Equine Veterinary Science*. doi: 10.1016/j.jevs.2019.102892.
- Azevedo, M. D.; Pires, M. D. F.A.; Saturnino, H. M.; Lana, A. M. Q.; Sampaio, I. B. M.; Monteiro, J. B. N.; Morato, L. E. 2005. Estimativa de níveis críticos superiores do índice de temperatura e umidade para vacas leiteiras ¹/₂, ³/₄ e ⁷/₈ Holandês-Zebu em lactação. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 34, n. 6, p. 2000–2008. doi: 10.1590/S1516-35982005000600025.
- Baêta F. C.; Souza C. F. 1997. *Ambiência em edificações rurais: conforto térmico animal*. Viçosa: UFV. 246p.
- Baeta, F.C. 1985. Responses of lactating dairy cows to the combined effects of temperature, humidity and wind velocity in the warm season. 218 f. Thesis (Ph.D.). University of Missouri, Columbia, 1985.
- Bagath, M.; Krishnan, G.; Devaraj, C.; Rashamol, V. P.; Pragna, P.; Lees, A. M.; Sejian, V. 2019. The impact of heat stress on the immune system in dairy cattle: A review. *Research in Veterinary Science*. doi: 10.1016/j.rvsc.2019.08.011.
- Bahry, M. A.; Yang, H.; Tran, P. V.; Do, P. H.; Han, G.; Eltahan, H. M.; Chowdhury V. S.; Furuse, M. 2018. Reduction in voluntary food intake, but not fasting, stimulates hypothalamic gonadotropin-inhibitory hormone precursor mRNA expression in chicks under heat stress. *Neuropeptides*. doi: 10.1016/j.npep.2018.09.001.
- Baker, L. B. 2019. Physiology of sweat gland function: The roles of sweating and sweat composition in human health. *Temperature*. doi: 10.1080/23328940.2019.1632145.
- Banks A, Looper ML, Reiter S, Starkey L, Flores R, Hallford D and Rosenkrans C Jr 2007. Identification of single nucleotide polymorphisms within the promoter region of the bovine heat shock protein 70 gene and associations with pregnancy. *Proceeding of American Society of Animal Science*. Southern Section Meeting 85 (suppl. 2), 10.
- Baumgard, L. H. e Rhoads, R. P. 2013. Effects of Heat Stress on Postabsorptive Metabolism and Energetics. *Annual Review of Animal Biosciences*, v. 1, n. 1, p. 311–337. doi: 10.1146/annurev-animal-031412-103644.
- Berman, A.; Horovitz, T.; Kaim, M.; Gacitua, H. 2016. A comparison of THI indices leads to a sensible heat-based heat stress index for shaded cattle that aligns temperature and humidity stress. *International Journal of Biometeorology*, v. 60, n. 10, p. 1453–1462. 2016. doi: 10.1007/s00484-016-1136-9.

- Bernabucci, U.; Lacetera, N.; Baumgard, L. H.; Rhoads, R. P.; Ronchi, B.; Nardone, A. 2010. Metabolic and hormonal acclimation to heat stress in domesticated ruminants. *Animal*, v. 4, n. 7, p. 1167-1183. doi: 10.1017/s175173111000090x.
- Bewley, J. M.; Einstein, M. E.; Grott, M. W.; Schutz, M. M. 2008. Comparison of reticular and rectal core body temperatures in lactating dairy cows. *Journal of Animal Science*, v. 91, p. 4661-4672. doi: 10.3168/jds.2007-0835.
- Bezerra, L. R.; Ferreira, A. F.; Camboim, E. K. A.; Justiniano, S. V.; Machado, P. C. R., Gomes, B. B. 2008. Perfil hematológico de cabras clinicamente sadias criadas no Cariri paraibano. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 32, n. 3, p. 955-960. Disponível em: <http://www.editora.ufla.br/_adm/upload/revista/32-3-2008_37.pdf>. Acesso em: 13 mai. 2020. doi: 10.1590/S1413-70542008000300037.
- Bianca, W. 1962. Relative importance of dry-and wet-bulb temperatures in causing heat stress in cattle. *Nature*. London, v. 195, p. 251-252. doi: 10.1038/195251a0.
- Bianchini, E.; McManus, C.; Lucci, C. M.; Fernandes, M. C. B.; Prescott, E.; Mariante, A. D. S.; Egito, A. A. D. 2006. Características corporais associadas com a adaptação ao calor em bovinos naturalizados brasileiros. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 41, p. 1443-1448.
- Bianco, A. C. 2000. Hormônios tireóideos, UCPs e termogênese. *Arquivos Brasileiros de Endocrinologia e Metabologia*, v. 44, n. 4, p. 281-289. doi: 10.1590/S0004-27302000000400003.
- Brown-Brandl, T. M. 2018. Understanding heat stress in beef cattle. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 47. doi: 10.1590/rbz4720160414.
- Cardoso, C. C.; Peripolli, V.; Amador, S. A.; Brandão, E. G.; Esteves, G. I. F.; Sousa, C. M. Z.; França M. F. M. S.; Gonçalves, F. G.; Barbosa, F. A.; Montalvão, T. C.; Martins, C. F.; Fonseca Neto, A. M.; McManus, C. 2015. Physiological and thermographic response to heat stress in zebu cattle. *Livestock Science*, v. 182, p. 83-92. doi: 10.1016/j.livsci.2015.10.022 .
- Caroprese, M.; Albenzio, M.; Bruno, A.; Annicchiarico, G.; Marino, R.; Sevi, A. 2012. Effects of shade and flaxseed supplementation on the welfare of lactating ewes under high ambient temperatures. *Small Ruminant Research*, v. 102, n.2-3, p. 177-185. doi: 10.1016/j.smallrumres.2011.07.010.
- Carvalho, P. D.; Santos, V. G.; Giordano, J. O.; Wiltbank, M. C.; Fricke, P. M. 2018. Development of fertility programs to achieve high 21-day pregnancy rates in high-producing dairy cows. *Theriogenology*, v. 114, p.165-172.
- Cervantes, M., Antoine, D., Valle, J. A., Vásquez, N., Camacho, R. L., Bernal, H., e Morales, A. (2018). Effect of feed intake level on the body temperature of pigs exposed to heat stress conditions. *Journal of Thermal Biology*, v. 76, p. 17.
- Cheng, J.; Zheng, N.; Sun, X.; Li, S.; Wang, J.; Zhang, Y. 2016. Feeding rumen-protected gamma-aminobutyric acid enhances the immune response and antioxidant status of heat-stressed lactating dairy cows. *Journal of Thermal Biology*, v. 60, p. 103-108. doi: 10.1016/j.jtherbio.2016.06.011.
- Collier, R. J.; Renquist, B. J.; Xiao, Y. 2017. A 100-Year Review: Stress physiology including heat stress. *Journal of Dairy Science*, v. 100 n. 12, p. 10367-10380. doi: 10.3168/jds.2017-13676.
- Conte, G.; Ciampolini, R.; Cassandro, M.; Lasagna, E.; Calamari, L.; Bernabucci, U.; Abeni, F. 2018. Feeding and nutrition management of heat-stressed dairy ruminants. *Italian Journal of Animal Science*, v. 17, n. 3, p. 604-620. doi: 10.1080/1828051x.2017.1404944.
- Curtis, A. K.; Scharf, B.; Eichen, P. A.; Spiers, D. E. 2017. Relationships between ambient conditions, thermal status, and feed intake of cattle during summer heat stress with access to shade. *Journal of Thermal Biology*, v. 63, p. 104-111.
- Dado-Senn, B.; Vega Acosta, L.; Torres Rivera, M.; Field, S. L.; Marrero, M. G.; Davidson, B. D.; Tao, S.; Fabris, T. F.; Ortiz-Colón, G.; Dahl G.E.; Laporta, J. 2020. Pre- and postnatal heat stress abatement affects dairy calf thermoregulation and performance. *Journal of Dairy Science*. doi: 10.3168/jds.2019-17926.

- Dahl, G. E., Skibieli, A. L., e Laporta, J. 2019. In Utero Heat Stress Programs Reduced Performance and Health in Calves. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, v. 35 n. 2, p. 343–353. doi: 10.1016/j.cvfa.2019.02.005.
- Dalcin, V. C.; Fischer, V.; Daltro, D. S.; Alfonzo, E. P. M.; Stumpf, M. T.; Kolling, G. J.; Silva, M, v. G. B.; McManus, C. 2016. Physiological parameters for thermal stress in dairy cattle. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 45, n. 8, 458-465. doi: 10.1590/S1806-92902016000800006.
- Darcan, N.; Cedden, F.; Cankaya, S. 2008. Spraying effects on some physiological and behavioral traits of goats in a subtropical climate. *Italian Journal of Animal Science*, v. 7, p. 77–85.
- De, K.; Kumar, D.; Saxena, V. K.; Thirumurugan, P.; Naqvi, S. M. K. 2017. Effect of high ambient temperature on behavior of sheep under semi-arid tropical environment. *International Journal of Biometeorology*, v. 61, n. 7, p. 1269–1277. doi: 10.1007/s00484-016-1304-y.
- Dikmen, S.; Khan, F. A.; Huson, H. J.; Sonstegard, T. S.; Moss, J. I.; Dahl, G. E.; Hansen, P. J. 2014. The SLICK hair locus derived from Senepol cattle confers thermotolerance to intensively managed lactating Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, v. 97, n. 9, p. 5508–5520. doi: 10.3168/jds.2014-8087.
- Fan, C., Su, D., Tian, H., Hu, R., Ran, L., Yang, Y.; Su, Y.; Cheng, J. 2019. Milk production and composition and metabolic alterations in the mammary gland of heat-stressed lactating dairy cows. *Journal of Integrative Agriculture*, v. 18, n. 12, p. 2844–2853. doi: 10.1016/s2095-3119(19)62834-0.
- Ferraretto, L. F.; Shaver, R. D.; Bertics, S. J. 2012. Effect of dietary supplementation with live-cell yeast at two dosages on lactation performance, ruminal fermentation, and totaltract nutrient digestibility in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, v. 95, p. 4017–4028.
- Ferrazza, R.; Garcia, D.; Aristizabal, V.; Nogueira, S.; Verissimo, C.; Sartori, J. 2017. Thermoregulatory responses of Holstein cows exposed to experimentally induced heat stress. *Journal of Thermal Biology*, v. 66, p. 68– 80.
- Ferreira, F.; Campos, W. E.; Carvalho, A. U.; Pires, M. F. A.; Martinez, M. L.; Silva, M, v. G. B.; Verneque, R. S.; Silva, P. F. 2009. Taxa de sudação e parâmetros histológicos de bovinos submetidos ao estresse calórico. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v. 61, n. 4, p. 763-768. doi: 10.1590/S0102-09352009000400001.
- Garner, J. B.; Douglas, M. L.; Williams, S. R. O.; Wales, W. J.; Marett, L. C.; Nguyen, T. T. T.; Raich, C. M.; Hayes, B. J. 2016. Genomic Selection Improves Heat Tolerance in Dairy Cattle. *Scientific Reports*, v. 6, p. 1. doi: 10.1038/srep34114.
- Gaughan, J. B.; Lacetera, N.; Valtorta, S. E.; Khalifa, H. H.; Hahn, L.; Mader, T. 2009. Response of domestic animals to climate challenges. *Biometeorology for adaptation*. p. 131–170. doi: 10.1007/978-1-4020-8921-3_7.
- Gunn, K. M.; Holly, M. A.; Veith, T. L.; Buda, A. R.; Prasad, R.; Rotz, C. A.; Soder, J. K.; Stoner, A. M. K. 2019. Projected heat stress challenges and abatement opportunities for U.S. milk production. *PLOS ONE*, v. 14, e0214665. doi: 10.1371/journal.pone.0214665.
- Gwazdauskas, F. C.; Thatcher, W. W.; Wilcox, C. J. 1973. Physiological, environmental, and hormonal factors at insemination which may affect conception. *Journal of Dairy Science*, v. 56, p. 873-877.
- Hahn, G. L.; Parkhurst, A. M.; Gaughan, J. B. 1997. Cattle respiration rate as function of ambient temperature. (Abstr.) In: ASAE, Minneapolis. *Proceedings...* Minneapoli: [s.n]. p. 1-21.
- Hamblen, H.; Hansen, P. J.; Zolini, A. M.; Oltenacu, P. A.; Mateescu, R. G. 2018. Thermoregulatory response of Brangus heifers to naturally occurring heat exposure on pasture. *Journal of Animal Science*, v. 96, n. 8, p. 3131–3137. doi: 10.1093/jas/sky224.
- Hansen, P. J. 2019. Reproductive physiology of the heat-stressed dairy cow: implications for fertility and assisted reproduction. In: *35th Annual Meeting of the European Embryo Transfer Association (AETE)*. Murcia, Spain, September 12th and 14th.
- Kamal, R.; Dutt, T.; Patel, B. H. M.; Singh, G.; Chandran, P. C.; Dey, A.; Barari, S. K. 2016a. Effect of shade materials on rectal temperature, respiration rate and body surface temperature of crossbred calves during rainy season. *Indian Journal of Animal Sciences*, v. 86, n. 1, p. 75–81.

- Kamal, R.; Dutt, T.; Patel, M.; Dey, A.; Bharti, P. K.; Chandran, P. C. 2018. Heat stress and effect of shade materials on hormonal and behavior response of dairy cattle: a review. *Tropical Animal Health and Production*, v. 50, n. 4, p. 701–706. doi: 10.1007/s11250-018-1542-6.
- Kamal, R.; Dutt, T.; Patel, M.; Dey, A.; Bharti, P. K.; Chandran, P. C.; Barari, S. K. 2016b. Behavioural, biochemical and hormonal responses of heat-stressed crossbred calves to different shade materials. *Journal of Applied Animal Research*, v. 44 n. 1, p. 347–354.
- Karvatte, N.; Klosowski, E. S.; de Almeida, R. G.; Mesquita, E. E.; de Oliveira, C. C.; Alves, F, v. 2016. Shading effect on microclimate and thermal comfort indexes in integrated crop-livestock-forest systems in the Brazilian Midwest. *International Journal of Biometeorology*, v. 60 n. 12, p. 1933–1941. doi: 10.1007/s00484-016-1180-5.
- Lee, Y.; Bok, J. D.; Lee, H. J.; Lee, H. G.; Kim, D.; Lee, I.; Kang, S.K.; Choi, Y. J. 2015. Body Temperature Monitoring Using Subcutaneously Implanted Thermo-loggers from Holstein Steers. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, v. 29, n. 2, p. 299–306. doi: 10.5713/ajas.15.0353.
- Lees, A. M.; Lees, J. C.; Lisle, A. T.; Sullivan, M. L.; Gaughan, J. B. 2017. Effect of heat stress on rumen temperature of three breeds of cattle. *International Journal of Biometeorology*, v. 62, n. 2, p. 207–215. doi: 10.1007/s00484-017-1442-x .
- Lees, A. M.; Lea J. M.; Salvin, H. E.; Cafe, L. M.; Colditz, I. G.; Lee, C. 2018. Relationship between Rectal Temperature and Vaginal Temperature in Grazing *Bos taurus* Heifers. *Animals*, v. 8, p. 156. doi: 10.3390/ani8090156.
- Mader, T. L.; Davis, M. S.; Brown-Brandl, T. 2006. Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle. *Journal of Dairy Science*. Champaign, v. 84, n. 3, p. 712-719. doi: 10.2527/2006.843712x.
- Mader, T. L.; Holt, S. M.; Hahn, G. L.; Davis, M. S.; Spiers, D. E. 2002. Feeding strategies for managing heat load in feedlot cattle. *Journal of Animal Science*, v. 80, p. 2373–2382.
- Maia, A. S. C.; R. G. da Silva; C. M. Battiston Loureiro. 2005. Sensible and latent heat loss from the body surface of Holstein cows in a tropical environment. *International Journal of Biometeorology*, v. 50, p. 17–22.
- Monteiro, A. P. A.; Tao, S.; Thompson, I. M. T.; Dahl, G. E. 2016. In utero heat stress decreases calf survival and performance through the first lactation. *Journal of Dairy Science*, v. 99, n. 10, p. 8443–8450. doi: 10.3168/jds.2016-11072.
- National Research Council. 1971. *A guide to environmental research on animals*. National Academy Science, Washington, DC. 88p.
- National Research Council. NRC. 2001. Nutrient requirements of dairy cattle. *National Academy Press*. Washington, D.C., 381p.
- Ouellet, V.; Laporta, J.; Dahl, G. E. 2020. Late gestation heat stress in dairy cows: Effects on dam and daughter. *Theriogenology*. doi: 10.1016/j.theriogenology.2020.03.011.
- Pantoja, M. H. A.; Esteves, S. N.; Jacinto, M. A. C.; Pezzopane, J. R. M.; Paz, C. C. P. de; Silva, J. A. R.; Lourenço Jr., J. B.; Brandão, F. Z.; Moura, A. B. B.; Romanello, N.; Botta, D.; Garcia, A. R. 2017. Thermoregulation of male sheep of indigenous or exotic breeds in a tropical environment. *Journal of Thermal Biology*, v. 69, p. 302–310. doi: 10.1016/j.jtherbio.2017.09.002.
- Pereira, A. M. F.; Titto, E. L.; Infante, P.; Titto, C. G.; Geraldo, A. M.; Alves, A.; Leme, T. M.; Baccari Jr. F.; Almeida, J. A. 2014. Evaporative heat loss in *Bos taurus taurus*: Do different cattle breeds cope with heat stress in the same way? *Journal of Thermal Biology*, v. 45, p. 87–95. doi: 10.1016/j.jtherbio.2014.08.004.
- Polsky, L.; von Keyserlingk, M. A. G. 2017. Invited review: Effects of heat stress on dairy cattle welfare. *Journal of Dairy Science*, v. 100, n. 11, p. 8645–8657. doi: 10.3168/jds.2017-12651.
- Provolo, G.; Riva, E. 2009. One year study of lying and standing behavior of dairy cows in a freestall barn in Italy. *Journal of Agricultural Engineering*, v. 40, p. 27–33.
- Rhoads, R. P.; Baumgard, L. H.; Suagee, J. K.; Sanders, S. R. 2013. Nutritional interventions to alleviate the negative consequences of heat stress. *Advances in Nutrition*, v. 4, p. 267–276.

- Rocha, D. R.; Salles, M. G. F.; Moura, A. A. A. N.; Araújo, A. A. 2012. Impacto do estresse térmico na reprodução da fêmea bovina. *Revista Brasileira de Reprodução Animal*. Belo Horizonte. v.36, n.1, p.18-24, jan./mar. Disponível em: <www.cbrea.org.br>.
- Rodrigues, N. E. B.; Zangeronimo, M. G.; Fialho, E. T. 2010. Adaptações fisiológicas de suínos sob estresse térmico. *Revista Eletrônica Nutritime*, v.7, n.2, p.1197-1211.
- Sakatani, M.; Alvarez, N. V.; Takahashi, M.; Hansen, P. J. 2012. Consequences of Physiological heat shock beginning at the zygote stage on embryonic development and expression of stress response genes in cattle. *Journal of Dairy Science*, v. 95, n. 6, p. 3080–3091.
- Sejian, V.; Kumar, D.; Naqvi, S. M. K. 2017. Physiological rhythmicity in Malpura ewes to adapt to cold stress in a semi-arid tropical environment. *Biological Rhythm Research*, v. 9, p. 215–225.
- Sejian, V.; Bhatta, R.; Gaughan, J. B.; Dunshea, F. R.; Lacetera, N. 2018. Review: Adaptation of animals to heat stress. *Animal*, p. 1–14. doi: 10.1017/s1751731118001945.
- Shehab-El-Deen, M. A. M. M.; Leroy, J. L. M. R.; Fadel, M. S.; Saleh, S. Y. A.; Maes, D.; Van Soom, A. 2010. Biochemical changes in the follicular fluid of the dominant follicle of high producing dairy cows exposed to heat stress early post-partum. *Animal Reproduction Science*, v. 117, n. 3-4, p. 189–200. doi: 10.1016/j.anireprosci.2009.04.013.
- Shilja, S; Sejian, V.; Bagath, M.; Mech, A.; David, C. G.; Kurien, E. K.; Varma, G.; Bhatta, R. 2016. Adaptive capability as indicated by behavioural and physiological responses, plasma HSP70 level, and PBMC HSP70 mRNA expression in Osmanabadi goats subjected to combined (heat and nutritional) stressors. *International Journal of Biometeorology*, v. 60, p. 1311–1323.
- Silanikove, N. 2000. The physiological basis of adaptation in goats to harsh environments. *Small Ruminant Research*, v. 35, p. 181–193.
- Silva, A. M.; Modesto, E. C.; Lira, C. C.; Santos, M. V. F.; Brasil, L. H. A.; Lira, M. A.; Dubeux Júnior, J. C. B.; Mello, A. C. L. 2011. Diurnal intake behavior of Girolanda cows at different stocking rates. *Arquivos de Zootecnia*, v. 60, n. 232, p. 859-870. doi: 10.4321/S0004-05922011000400003.
- Skibieli, A. L.; Dado-Senn, B.; Fabris, T. F.; Dahl, G. E.; Laporta, J. 2018. In utero exposure to thermal stress has long-term effects on mammary gland microstructure and function in dairy cattle. *PLOS ONE*, v. 13, n. 10. doi: 10.1371/journal.pone.0206046.
- Souza, A. W. S.; Mesquita Júnior, D.; Araújo, J. A. P.; Catelan, T. T. T.; Cruvinel, W. de M.; Andrade, L. E. C.; Silva, N. P. 2010. Sistema imunitário: parte III. O delicado equilíbrio do sistema imunológico entre os pólos de tolerância e autoimunidade. *Revista Brasileira de Reumatologia*, v. 50, n. 6, p.665–679.
- Souza, P. T.; Salles, M. G. F.; Araújo, A. A. 2012. Impacto do estresse térmico sobre a fisiologia, reprodução e produção de caprinos. *Ciência Rural*, v. 42, n. 10, p. 1888–1895. doi: 10.1590/s0103-84782012005000072.
- Starkey, L.; Looper, M. L.; Banks, A.; Reiter, S.; Rosenkrans, C. Jr. 2007. Identification of polymorphisms in the promoter region of the bovine heat shock protein gene and associations with bull calf weaning weight. *American Society of Animal Science*, Southern Section Meeting 85 (suppl. 2), p. 42.
- Stöber, M. 1993. Identificação, anamnese, regras básicas da técnica de exame clínico geral. In: Dirksen, G.; Gründer, H.D.; Stöber, M. *Exame clínico dos bovinos*, 3 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, cap. 2, p.44-80.
- Swanson, R. M.; Tait, R. G.; Galles, B. M.; Duffy, E. M.; Schmidt, T. B.; Petersen, J. L.; Yates, D. T. 2020. Heat stress-induced deficits in growth, metabolic efficiency, and cardiovascular function coincided with chronic systemic inflammation and hypercatecholaminemia in ractopamine-supplemented feedlot lambs. *Journal of Animal Science*, v. 98. ed. 6, p. 168.
- Tao, S.; Dahl, G. E. 2013. Invited review: Heat stress effects during late gestation on dry cows and their calves. *Journal of Dairy Science*, v. 96, n. 7, p. 4079–4093. doi: 10.3168/jds.2012-6278.
- Tao, S.; Bubolz, J. W.; Amaral, B. C.; Thompson, I. M.; Hayen, M. J.; Johnson, S. E.; Dahl, G. E. 2011. Effect of heat stress during the dry period on mammary gland development. *Journal of Dairy Science*, v. 94, n. 12, p. 5976–5986. doi: 10.3168/jds.2011-4329.

- Teixeira, V. A.; Coelho, S. G.; Tomich, T. R.; Pacheco Rodrigues, J. P.; Campos, M. M.; Machado, F. S.; Monteiro, G. A.; Ribeiro Pereira, L. G. 2019. Reproductive characteristics of bulls from two breed compositions and their correlations with infrared thermography. *Journal of Thermal Biology*. doi: 10.1016/j.jtherbio.2019.102407 .
- Terra, R. L. História, exame físico e registro dos ruminantes. In: Smith, B.P. *Tratado de medicina interna dos grandes animais*. São Paulo: Manole, 1993, v. 1, cap. 1, p. 3-15.
- Thom, E.C. Cooling degree days. 1958. *Air Conditioning, Heating and Ventilating*, New York, v. 55, p. 65-69.
- Thompson, I. M.; Dahl, G. E. 2012. Dry period seasonal effects on the subsequent lactation. *Professional Animal Science*, v. 28, p. 628–631.
- Tripon, I.; Cziszter, L. T.; Bura, M.; Sossidou, E. N. 2013. Effects of seasonal and climate variations on calves' thermal comfort and behaviour. *International Journal of Biometeorology*, v. 58, n. 7, p. 1471–1478. doi: 10.1007/s00484-013-0749-5.
- Ulvshammar, K. Effects of shade on milk production in Swedish dairy cows on pasture. 2014. Tese (mestrado). Universidade Sueca de Ciências Agrárias, Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia. Suécia. Disponível em: <https://stud.epsilon.slu.se/6604/7/ulvshammar_k_140416.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2020.
- Valente, E. E. L.; Chizzotti, M. L.; Oliveira, C. v. R.; Galvão, M. C.; Domingues, S. S.; Rodrigues, A. C.; Ladeira, M. M. 2015. Intake, physiological parameters and behavior of Angus and Nellore bulls subjected to heat stress. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 36, p. 4565–4574.
- Vasconcelos, J. L. M.; Demetrio, D. G. B. 2011. Manejo reprodutivo de vacas sob estresse calórico. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 40, p. 396-401 (supl. especial). ISSN 1806-9290.
- Yousef, M. K. 1985. *Stress physiology in livestock*, vol. 1. Basic principles. Boca Raton: CRC Press, 159p.

CAPÍTULO 8

DESEMPENHO VEGETAL EM SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA

Pamella Grossi de Sousa, Diogo Gonzaga Jayme, Lúcio Carlos Gonçalves, Alan Figueiredo de Oliveira, Rafael Araújo de Menezes, Guilherme Lobato Menezes, Frederico Patrus Ananias de Assis Pires, Matheus Anchieta Ramirez

RESUMO

O sistema de integração lavoura-pecuária (ILP) é caracterizado pela alternância entre o cultivo de grãos e a produção animal em pastagens de gramíneas e/ou leguminosas. As plantas forrageiras exercem a função de cobertura do solo, além de serem usadas na alimentação animal, aproveitando-se os recursos ambientais de forma mais eficiente. A ILP é capaz de prover elevados níveis da produção animal e vegetal, sustentabilidade do sistema de produção e aumento na renda do produtor. O sistema pode promover maior ciclagem de nutrientes e maior acúmulo de matéria seca na parte aérea e na raiz, com pastejo moderado em relação ao sistema convencional. Assim, é possível afirmar que a presença do animal aliada ao cultivo da lavoura sob plantio direto (PD) é capaz de proporcionar maior produtividade da lavoura e maior produtividade animal. Porém, é importante ressaltar a necessidade da ocorrência do sinergismo entre os componentes (agricultura e pecuária) para que o sistema responda de forma eficiente e sustentável em longo prazo. Portanto, a integração de culturas e a pecuária é uma forma de aumentar a resiliência dos sistemas agrícolas, além de promover a diversificação da renda do produtor por meio de uma agricultura ambientalmente sustentável.

INTRODUÇÃO

A produção atual e futura de alimentos deve estar de acordo com os princípios da agricultura sustentável de maneira ambiental, econômica e socialmente responsável ao longo do tempo (FAO, 2014). A conscientização dos direitos dos consumidores e a exigência por uma produção com menores impactos ao ambiente impõem condições ao mercado que devem ser atendidas pelos produtores. No Brasil, o enfoque já não é exclusivamente voltado à maximização da produção animal, mas também ao desenvolvimento de ambientes de produção sustentáveis.

O termo integração lavoura-pecuária (ILP) é utilizado para designar sistemas planejados envolvendo interações temporais e espaciais em diferentes escalas de

exploração de animais e culturas na mesma área, em rotação ou sucessão (Moraes *et al.*, 2014). Os benefícios incluem aumento da diversidade, aumento da eficiência do uso de terra, mitigação de gases de efeito estufa, redução de doenças de plantas e incidência de plantas daninhas, aumento da rentabilidade e redução de custos e riscos (Carvalho *et al.*, 2010A; Bell e Moore, 2012; Ryschawy *et al.*, 2012).

Os desafios referentes à implementação dos sistemas de ILP são resultantes das maiores complexidades e custos do estabelecimento, que exigem experiência técnica e econômica. Além disso, a grande variedade de solos e climas no Brasil permite uma ampla diversidade de ILP com diferentes arranjos temporais e espaciais.

Para implantação do sistema ILP, torna-se necessária a aplicação de alguns pilares da agricultura conservacionista. Nesse sistema, o plantio direto (PD) exige cobertura do solo, que, aliado à diversidade de rotações e ao efeito do pastejo, interage de forma sinérgica. Portanto, mais importante do que a maximização da produção de um dos segmentos (agricultura ou pecuária) é a manutenção do sinergismo entre eles, para que o sistema responda de forma eficiente e sustentável em longo prazo (Lopes *et al.*, 2009). Objetivou-se, com este capítulo, apresentar o efeito da ILP no desempenho vegetal.

EFEITO DO SISTEMA ILP NO DESEMPENHO VEGETAL

A adoção de sistemas de ILP é uma forma de suprir parcial ou totalmente o déficit de forragem durante a estação seca. Esse suprimento pode ser alcançado com o cultivo de forrageiras anuais, tais como aveia, milheto, sorgo forrageiro, ou de espécies perenes dos gêneros *Urochloa* e *Megathyrsus*, em sucessão às culturas de verão, de forma sustentável. Por meio do uso de práticas que melhoram a qualidade física, química e biológica do solo e promovem a reciclagem de nutrientes, a diversificação das fontes de renda e o controle de pragas e doenças (Garrett *et al.*, 2017; Peterson *et al.*, 2018), a integração de culturas e a pecuária foi sugerida como uma forma de aumentar a resiliência dos sistemas agrícolas (Stark *et al.*, 2018).

No estudo de Szymczak *et al.* (2020), os autores observaram que a produção de soja era mais vulnerável do que a pecuária. Devido à sensibilidade dos processos durante o ciclo da soja, a operação de criação de animais é menos vulnerável aos riscos climáticos quando comparada à produção de soja. A criação de animais apresenta alguma flexibilidade, como o processo clássico de crescimento compensatório, diante da escassez de forragem. Esses aspectos demonstram a importância de o produtor não depender de apenas uma atividade como fonte de renda.

O pastejo pode ser interpretado como prejudicial e é frequentemente observado como indesejável, porque os animais consomem materiais que proporcionariam cobertura do solo para o PD, além do efeito do pisoteio. É provável que essa crença seja uma herança de épocas de agricultura convencional, em que se utilizava o preparo do solo, aliado a taxas de lotações excessivas na rotação com a pecuária.

A compactação da camada superficial pode ser causada pelo pisoteio dos animais em altas intensidades de pastejo. Essa camada pode reduzir a emergência de plantas, além de prejudicar a infiltração da água no sistema de PD. Contudo, destaca-se que o nível de compactação é dependente do manejo adotado durante o período (Trein *et al.*, 1991). Em trabalho realizado por Flores (2007), as alterações nos atributos físicos do solo decorrentes do pisoteio animal não atingiram níveis prejudiciais para o estabelecimento da soja implantada após o pastejo.

A utilização de pastagens em áreas de lavoura pode contribuir para a melhoria da qualidade física dos solos. Quando nesse sistema ocorre pequeno aumento na densidade do solo, principalmente na camada de 0-15 cm (Marchão *et al.*, 2007), uma concentração de raízes na camada superficial pode atenuar esse problema. Machado *et al.* (2007) observaram que, em rotação pastagem-lavoura, havia de 5 a 10 Mg/ha de MS de raízes de *Urochloa brizantha* (*U. brizantha*) na camada de 0-20 cm de solo, dependendo do manejo imposto. Além disso, os resíduos vegetais provenientes da forragem e dos restos da lavoura são indispensáveis para aumentar o tamanho e a estabilidade dos agregados, favorecendo o controle da erosão e a resistência do solo à compactação (Machado e Assis, 2010).

Franzluebbers (2009) salienta a importância da presença do pastejo, e não apenas o papel da pastagem na manutenção da cobertura vegetal, pois o deslocamento do animal sobre a cobertura vegetal pode contribuir para a incorporação dos resíduos vegetais no solo. O autor observou que esse processo biológico de incorporação teria sido um motivo provável para o incremento na mineralização e a maior biomassa microbiana observados na camada superficial do solo nas áreas de pastejo, em comparação a áreas que continham apenas pastagem para cobertura de solo.

Outro aspecto que distingue áreas de pastejo de áreas não pastejadas refere-se à ciclagem de nutrientes, por meio da ingestão de forragem e posterior excreção dos animais. De acordo com Ball *et al.* (1991), as quantidades de nutrientes exportadas por uma novilha de 450 kg correspondem a 11,4 kg de N, 3,0 kg de P e 0,6 kg de K. Nesse contexto, as estimativas médias de nove anos, comparando-se a exportação de nutrientes

pela soja em relação às operações de terminação, mostraram que os animais carregavam aproximadamente 13, 37 e 2% de N, P e K, respectivamente, dos nutrientes exportados pela soja colhida (Carvalho *et al.*, 2011). Esses resultados mostram que os animais reciclam uma grande fração dos nutrientes que ingerem. Já Flores *et al.* (2008) comprovaram que, em áreas não pastejadas, o calcário aprofunda no perfil do solo 2,5 cm/ano, enquanto, nas áreas pastejadas, esse valor chega até 7,5 cm/ano.

Segundo Lang *et al.* (2011), um ILP sob condições de PD resulta em maiores teores de carbono e nitrogênio no solo em comparação com as áreas não pastejadas. Dessa forma, regiões tropicais e subtropicais cultivadas em condições de PD são favorecidas pela adoção de ILP devido ao aumento dos estoques de carbono no solo nas áreas pastejadas em comparação com as áreas não pastejadas (Salton *et al.*, 2005).

Existe uma noção equivocada de que o pastejo prejudica o acúmulo de matéria seca (MS) no solo para o PD. Moraes *et al.* (2014) explicaram que, em condições de pastejo moderado, acontece exatamente o contrário. Isso ocorre, pois a cobertura do solo em áreas não pastejadas está em processo contínuo, atingindo a área foliar máxima até alcançar o acúmulo máximo de MS. Em áreas pastejadas, o resíduo pós-pastejo é resultado do crescimento da forragem subtraído o consumo de forragem durante o pastejo e/ou da quantidade reciclada por meio da senescência da planta durante o período de pastejo. Portanto, a quantidade de resíduo é sempre maior em áreas não pastejadas em comparação com áreas pastejadas. Apesar da menor quantidade de resíduo, as condições de pastejo proporcionam vários efeitos positivos, incluindo o estímulo da produção de perfilhos e raízes pela renovação da parte aérea. Desse modo, considerando-se a soma da massa de forragem e o crescimento de resíduos ao longo do período de pastejo, há maior extensão do acúmulo de MS em áreas com pastejo moderado.

Outra vantagem da ILP sob condições de PD é que o sistema é capaz de promover a diversidade microbiana em comparação com os sistemas de cultivo puro (Chavez *et al.*, 2011). Por exemplo, os valores do índice de diversidade de Shannon (H) para comunidades microbianas parecem estar correlacionados com a intensidade de pastejo. Chavez *et al.* (2011) observaram valor médio de H de 6,52 para áreas não pastejadas e de 6,93 para áreas com maior intensidade de pastejo. Já nas áreas que receberam intensidade moderada de pastejo, o valor de H foi de aproximadamente 7,3, o que indica que taxas de ocupação moderadas aumentam a diversidade microbiana. Finalmente, outra propriedade importante é a formação de um ambiente mais adequado para a coexistência de

microrganismos do solo em pastejo moderado, em comparação com os sistemas de monocultura.

DIFERENTES SISTEMAS DE ILP

O sistema de ILP pode ser adotado de diversas formas, com diferentes composições de espécies vegetais e animais em arranjos distintos. Todas essas alternativas proporcionaram, em variados ambientes, o desenvolvimento de modos de integrar a pecuária à produção de grãos. Abaixo são descritos alguns sistemas de ILP de acordo com Cordeiro *et al.* (2015).

Sistema Barreirão

O sistema Barreirão tem o objetivo de recuperar ou renovar pastagem degradada. No período seco, realiza-se uma gradagem pesada, se o objetivo for a troca do tipo de capim. É nesse momento que deve ser incorporado o corretivo. A aração profunda no início do período chuvoso é a principal característica desse sistema. As razões para o uso do arado são: romper as camadas compactadas ou adensadas; incorporar em profundidade os corretivos; e incorporar em profundidade o banco de sementes de plantas daninhas, capins, etc., para que elas tenham a emergência inibida ou retardada e, assim, possam competir menos com a lavoura. Como demanda tempo a reação dos corretivos e dos fertilizantes no solo, é esperado melhor desempenho das lavouras nos cultivos subsequentes.

Sistema Santa Fé

O sistema Santa Fé consiste na produção consorciada de culturas de grãos, especialmente milho (*Zea mays*), soja (*Glycine max*), arroz (*Oryza sativa*), sorgo (*Sorghum* sp.) ou milheto (*Pennisetum glaucum*), com espécies forrageiras gramíneas tropicais, principalmente as dos gêneros *Urochloa* e *Megathyrsus*. O capim é plantado em conjunto com a cultura anual e, após a colheita da cultura, tem-se o pasto recuperado. Em sequência, a gramínea será utilizada para pastejo de animais até o início da próxima estação chuvosa. Nesse momento, o pastejo é suspenso e é realizada a dessecação do capim para servir de palhada para um novo ciclo em plantio direto.

Sistema São Mateus

O sistema São Mateus é indicado para a região do Bolsão Sul-Mato-Grossense e tem como objetivo o cultivo de soja em plantio direto para amortizar os custos da

recuperação da pastagem. Nos períodos do inverno e da primavera, deve-se realizar o terraceamento e a correção do solo com a aplicação de calcário, gesso e adubos. No início do período chuvoso, é cultivada pastagem de braquiária (cv. Marandu, cv. BRS Piatã ou cv. Xaraés), visando tanto ao desenvolvimento das raízes quanto à formação de palhada para o plantio direto da soja. A pastagem é usada por seis a nove meses, até o mês de setembro. No próximo ano, após o início das chuvas, deve ser feita a dessecação da pastagem com herbicida e, cerca de 20 dias depois, efetuar a semeadura da soja sobre a palhada da pastagem dessecada (4 a 6 t/ha de massa de MS). A inoculação do rizóbio é indispensável em áreas de primeiro cultivo de soja, para o suprimento adequado de nitrogênio. Após a colheita da soja, deve-se semear imediatamente a pastagem que será utilizada na pecuária nos próximos dois anos, retornando à soja no terceiro ano.

Sistema Santa Brígida

O sistema Santa Brígida é caracterizado pelo consórcio triplo entre milho, braquiária e uma leguminosa, especialmente o guandu-anão. O principal objetivo é a fixação biológica de nitrogênio, que reduz a necessidade de adubo nitrogenado químico. Para implantação, é necessário realizar a dessecação da área duas a três semanas antes da semeadura do milho e/ou da leguminosa, para evitar que o dessecante passe da planta-alvo para as raízes das culturas principais. Logo após o plantio do milho, as sementes de guandu-anão e de braquiária são misturadas ao superfosfato simples e semeadas nas entrelinhas do milho, em profundidade de 2 a 3cm. A adubação do milho é feita de acordo com as recomendações convencionais. Recomenda-se que seja adotado um controle precoce das plantas daninhas antes da implantação do consórcio.

PRODUTIVIDADE DA SOJA EM SISTEMA ILP

A soja (*Glycine max* L.) é uma das culturas mais cultivadas no mundo, com cerca de 121 milhões de toneladas produzidas na safra 2018/2019 no Brasil (Conab, 2019). Muitos produtores de diversas regiões brasileiras optam pela adoção do sistema ILP, com o intuito de aumentar e diversificar a renda, melhorar a qualidade do sistema de plantio direto e produzir soja com mais sustentabilidade (Debiasi e Franchini, 2012).

Pensando nisso, Szymczak *et al.* (2020) executaram um experimento de longo prazo (desde 2001) no estado do Rio Grande do Sul (Brasil), com o objetivo de comparar a produção da soja em sucessão à pastagem mista de aveia-preta (*Avena strigosa*) e azevém (*Lolium multiflorum*) em quatro alturas de pastejo (10, 20, 30 e 40 cm) em

comparação ao sistema convencional de cultivo de soja. A média de produção de grãos de soja ao longo dos anos para as alturas de 10, 20, 30 e 40 cm foi de 2.845, 3.014, 2.996 e 3.163 kg/ha, respectivamente, enquanto a produção média do sistema convencional foi de 3.052 kg/ha. Além disso, os autores observaram, com base nas análises de riscos, que a produção de soja foi mais vulnerável que a pecuária. Dessa forma, eles concluíram que os sistemas ILP são mais resistentes às variações climáticas que o sistema convencional. A integração das culturas de verão com o pastoreio de inverno, no mesmo terreno, durante um ciclo anual de produção, representou a adição de uma atividade menos arriscada (produção animal) em relação aos riscos climáticos e aumentou a eficiência do uso da terra.

Lunardi *et al.* (2008) avaliaram a influência de dois métodos (lotação contínua e lotação rotacionada) e de duas intensidades de pastejo (moderada e baixa) de ovinos em pastagem de azevém (*Lolium multiflorum*) no rendimento da soja cultivada em dois espaçamentos entre linhas (20 e 40 cm), em um sistema de ILP. O rendimento médio de grãos da área pastejada (média das duas intensidades de pastejo) foi maior ($p < 0,05$) (1.384 kg/ha) em comparação à área sem pastejo (934 kg/ha). Os autores atribuíram esse efeito ao acúmulo de massa de forragem (MF) no tratamento sem pastejo, que possivelmente tenha imobilizado maior quantidade de nutrientes do que aquela imobilizada nas áreas pastejadas, devido à transformação da forragem em urina e fezes, acelerando o processo de ciclagem de nutrientes no sistema.

Segundo Assmann (2003), a transferência de N da pastagem, via urina e fezes dos animais, para a cultura sucessora diminui os efeitos de imobilização do nutriente na palha, favorecendo a reciclagem do N no sistema. A intensidade de pastejo afetou significativamente o rendimento de soja. A intensidade moderada resultou em rendimento de 1.208 kg/ha, inferior aos 1.559 kg/ha obtidos na intensidade baixa. Segundo os autores, as diferenças encontradas devem ter origem na maior taxa de lotação dos tratamentos de intensidade moderada. Nesse tratamento a massa de forragem era menor, tanto da parte aérea, quanto das raízes, o que pode limitar a absorção de nutrientes, a infiltração, as trocas gasosas e o desenvolvimento das raízes (Bicki e Siemens, 1991), refletindo-se sobre a parte aérea e o rendimento de grãos. Em relação ao espaçamento, não houve diferença significativa na população de plantas entre área pastejada e área não pastejada. Houve diferença significativa somente entre os espaçamentos de 0,2 m, que teve maior população de plantas.

Diversos trabalhos abordam o efeito da intensidade e das pressões de pastejo sobre o ILP, entretanto os estudos sobre o manejo dessas áreas e os efeitos causados na produção de grãos da soja subsequente ainda são escassos. Com o objetivo de avaliar as características agronômicas e a produtividade da soja em sucessão, Mattei *et al.* (2020) realizaram um experimento no Paraná (Brasil) com duas densidades de semeadura da aveia-preta (40 e 60 kg/ha) e três diferentes manejos (sem pastejo, um pastejo, dois pastejos) em comparação com o tratamento testemunha (área de pousio no inverno). Os autores não observaram influência das fontes de variação (densidade e manejo) em relação aos componentes de produção (diâmetro do caule, número de grãos por vagem, número de vagens por planta, número de grãos por planta, massa de mil grãos e produtividade) da soja.

De acordo com Castagnara *et al.* (2014), um dos principais problemas enfrentados no sistema ILP é a dificuldade da semeadura e do estabelecimento da cultura que apresenta germinação epígea, como é o caso da soja, em que o excesso de palhada pode prejudicar a germinação. No entanto, isso não ocorreu no experimento de Mattei *et al.* (2020), visto que a população de plantas foi estatisticamente superior quando foram utilizados 60 kg/ha de sementes de aveia e quando elas foram manejadas com pastejo (270.000 plantas/ha) e sem pastejo (267.500 plantas/ha), em relação à testemunha (237.500 plantas/ha). Segundo os autores, a maior população de plantas pode ser explicada pelo melhor controle da temperatura do solo e de plantas invasoras, pela retenção da umidade do solo e pela maior liberação de nutrientes provenientes da palhada.

Há um grande número de artigos que aborda o uso de forrageiras anuais para sucessão às culturas de verão. Porém, poucos tratam de espécies de *Urochloa* com essa finalidade. Ferreira *et al.* (2010) identificaram a *U. brizantha* como uma das espécies mais adequadas para a produção de forragem e palha. Entretanto, a eficiência de controle dessa forrageira com herbicida glifosato é normalmente baixa. Pensando nisso, Machado e Valle (2011) avaliaram a produtividade de grãos de soja e o desempenho agrônomo de genótipos de *U. brizantha* (cv. Marandu, cv. MG 4, cv. Xaraés, cv. Piatã, cv. Arapoty e cv. B6) para uso em sistemas de ILP durante três anos.

Em relação à produção de MS de forragem (Tabela 1), os cultivares Xaraés e B6 tiveram destaque em todos os anos. Quanto à relação folha/colmo, o cultivar Xaraés foi superior aos demais, em 2007 e 2008. O fato de o cultivar Xaraés manter-se por mais tempo na fase vegetativa (Silveira, 2006) ajuda a explicar a maior relação folha:colmo. Silveira *et al.* (2010) observaram que a Xaraés apresenta algumas características

interessantes em comparação a Piatã e a Marandu, como maior taxa de alongação de folhas, menor taxa de alongação de colmos e maior comprimento das folhas. Contudo, o cultivar Xaraés foi o que apresentou a pior digestibilidade *in vitro* da matéria orgânica (DIVMO), com média de 67%. Essas características são importantes ao se considerar o desempenho animal no sistema ILP.

Tabela 1. Produção de matéria seca de forragem, relação folha/colmo, eficiência de controle das plantas pela dessecação com glifosato e produtividade de grãos de soja, cultivada em sucessão a genótipos de *Urochloa brizantha*

Genótipo	Produção (kg/ha)	Folha/colmo	Eficiência de controle (%)	Produção de grãos (kg/ha)
Ano 2007				
Marandu	4.724ab	2,25b	84,5ab	2.718a
MG4	4.964a	1,62b	95,8a	2.460a
Xaraés	4.571ab	4,0a	76,3c	2.472a
Piatã	3.695bc	2,7b	88,8ab	2.474a
Arapoty	3.150c	1,6b	89,0ab	2.534a
B6	4.541ab	1,6b	94,7a	2.305a
Ano 2008				
Marandu	3.728bc	3,3b	68,3a	2.400a
MG4	3.079c	2,9b	60,2a	2.271a
Xaraés	3.849ab	5,6a	24,2b	2.275a
Piatã	4.008bc	3,2b	48,7a	2.277a
Arapoty	2.795c	3,0b	63,0a	2.289a
B6	5.299a	2,7b	71,3a	2.116a
Ano 2009				
Marandu	4.145b	6,0a	76,5cd	2.040a
MG4	5.265ab	3,6ab	93,5a	2.217a
Xaraés	6.189a	5,7a	68,8d	2.153a
Piatã	5.432ab	4,6ab	80,3bc	2.147a
Arapoty	1.044c	3,9ab	90,3ab	1.938a
B6	6.116a	3,0b	96,0a	2.231a

Médias seguidas de letras diferentes nas colunas diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: Adaptado de Machado e Valle (2011).

A eficiência de controle do glifosato na dessecação das forrageiras variou de acordo com o ano, porém o cultivar Xaraés sempre teve o pior resultado em relação aos demais. Além disso, os genótipos MG4 e B6 foram mais suscetíveis à dessecação com o herbicida glifosato. A produtividade de grãos de soja foi semelhante nos diferentes genótipos de *U. brizantha*. Machado e Assis (2010) não observaram diferenças na produtividade de grãos da soja semeada em sucessão a diferentes espécies forrageiras. Ao avaliarem soja em sucessão às forrageiras e às plantas de cobertura, Carvalho *et al.* (2004)

e Muraishi *et al.* (2005) também não observaram diferença quanto à produtividade de grãos da soja.

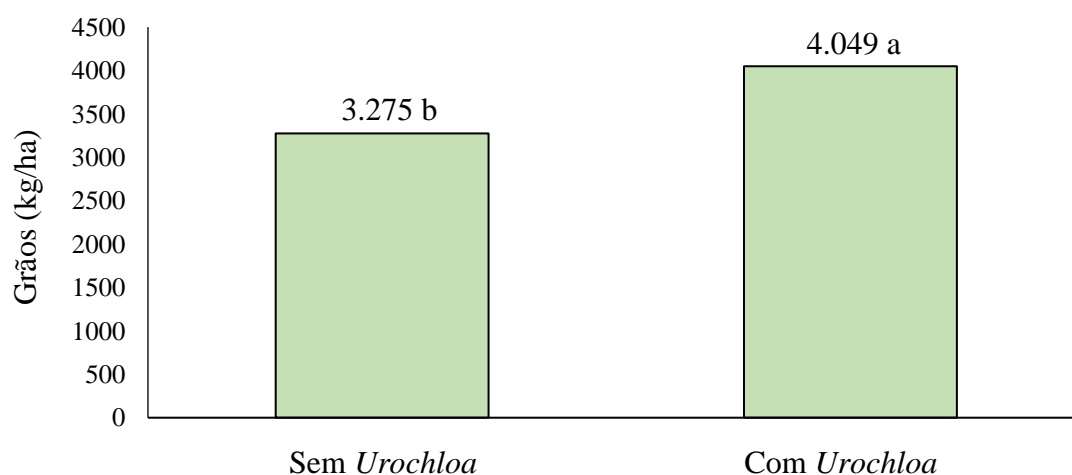
Alguns cultivares de *Urochloa* e de *Megathyrsus* são amplamente utilizados como forrageiras perenes em vários estados brasileiros. Contudo, seu uso não é comum para sistema de ILP sob PD. Assim, Machado e Assis (2010) avaliaram o efeito de diferentes forrageiras (*Urochloa ruziziensis*; *Urochloa decumbens*; *U. brizantha* cv. Marandu e Xaraés; *Megathyrsus maximum* cv. Tanzânia e Mombaça, *M. maximum* x *M. infestans* cv. Massai; *Pennisetum americanum* cv. BRS 1501; e *Sorghum bicolor* cv. Santa Elisa) na produtividade de grãos da cultura da soja em sucessão, em duas regiões do Mato Grosso do Sul (Dourados e São Gabriel do Oeste). A produtividade de grãos da cultura da soja não apresentou diferença significativa em relação às forrageiras que a antecederam, com média de 2.046 kg/ha. Segundo os autores, na entressafra das culturas de verão, as espécies anuais milho e sorgo podem suprir a demanda de forragem no início da estação seca, em abril e maio. Já as espécies perenes podem atender à necessidade de forragem durante a estação seca, de junho até o final de setembro. Contudo, estudos sobre avaliação do desempenho zootécnico dos animais são essenciais para que resultados conclusivos acerca do potencial de uso dessas forrageiras em sucessão às culturas de verão sejam obtidos.

Vilela *et al.* (2017) avaliaram a produtividade da soja cultivada sobre a palhada da *U. ruziziensis* ou *U. brizantha* cv. Piatã após o consórcio com o milho, em comparação com a soja cultivada em sistema convencional. O benefício da palhada no desempenho da soja pode ser visualizado na Figura 1. O rendimento de grãos de soja em PD no resíduo foi 24% (774 kg) superior ao obtido na área sem braquiária. A liberação de nutrientes por meio da decomposição da palhada de milho consorciado com braquiária é um dos benefícios potenciais dessa prática.

Ferreira *et al.* (2015) estudaram os efeitos da altura de pastejo (10, 20, 30, 40 cm e sem pastejo) de *U. ruziziensis* tanto na produção de palha como no estabelecimento e na produtividade de grãos em uma cultura de soja sob sistema ILP. A produção de palha foi maior para *U. ruziziensis* na área sem pastejo em comparação com as áreas com pastejo. Porém, a quantidade total de matéria seca produzida entre os tratamentos durante a média dos dois períodos de coleta (2010 e 2011), com exceção da altura de 10 cm, possuía quantidade necessária para manter a cobertura adequada do solo em um sistema de plantio direto com cultura em sucessão. Nesse sistema, é recomendado pelo menos 6.000 kg/ha de matéria seca na superfície do solo (Darolt, 1998). Apesar da diferença na

produção de palha entre as diferentes alturas de pastejo, o resíduo de palhada não causou efeito sobre o número final de plantas por metro e na produtividade da soja. Como o experimento foi executado durante duas safras, houve diferença significativa na produção da soja entre os anos. Segundo os autores, a falta de um efeito perceptível da altura de pastejo no número de plantas por metro é provavelmente devido à correta deposição de sementes na linha de plantio e a condições satisfatórias de umidade do solo durante o plantio.

Figura 1. Efeito da palhada de capim-braquiárias consorciadas com milho (*U. ruziziensis* e *U. brizantha* cv. Piatã) na produtividade de soja cv. M-SOY 8866. Fazenda Triunfo, Formosa do Rio Preto, BA



Médias seguidas de letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Fonte: Adaptado de Vilela *et al.* (2017).

PRODUTIVIDADE DO MILHO EM SISTEMA ILP

A cultura do milho destaca-se no sistema ILP pelas diversas aplicações desse cereal dentro da propriedade agrícola na forma de grãos ou de forragem verde ou conservada (silagem), além do uso na alimentação humana e na fabricação de produtos com o excedente. Portanto, maximizar a produtividade do milho de forma sustentável é benéfico para todos os setores.

Assmann (2003) avaliou a produtividade do milho cultivado em sequência à pastagem consorciada de aveia, azevém e trevo-branco, com diferentes doses de N (0, 100, 200 e 300 kg/ha de N no inverno e 0, 60, 120, 180 e 240 kg/ha de N no verão) e com lotação contínua ou sem pastejo. Esse autor verificou que as áreas pastejadas produziram mais que as áreas não pastejadas, pois a disponibilidade de N, expressa em N-NO₃ (mg/kg de solo), era maior em áreas com pastejo. A transferência de N da pastagem via urina e fezes dos animais para a cultura sucessora diminuiu os efeitos de imobilização do nutriente na palha, favorecendo a reciclagem do N no sistema.

Vilela *et al.* (2017) analisaram a produtividade do milho em consórcio com *U. ruziziensis* ou com *U. brizantha* cv. Piatã estabelecidas em sistema ILP em comparação com o milho solteiro. Após a colheita do milho, foi realizado o plantio da soja sob PD. Segundo os autores, a *U. ruziziensis* é preferida pela maioria dos produtores. Dessa forma, o consórcio de milho com *U. brizantha* cv. Piatã foi introduzido visando à diversificação do sistema e ao aumento do potencial de produção de forragem.

Tabela 2. Produtividade de milho (30P70) consorciado com duas espécies de braquiária e massa de forragem avaliada na pós-colheita do milho. Fazenda Triunfo, Formosa do Rio Preto, BA

Sistema	Produtividade de grãos de milho ⁽¹⁾	Massa seca de forragem
	kg/ha	
Milho solteiro	9.642 a	-
Milho + <i>U. ruziziensis</i>	9.459 a	2.677 b
Milho + <i>U. brizantha</i> cv. Piatã	8.434 b	5.514 a

⁽¹⁾ Herbicidas aplicados nos consórcios de milho com braquiária: na área com *U. ruziziensis* foram 1,5 kg/ha atrazine (i.a.) + 0,9 g/ha de nicosulfuron (i.a.); 1,5 kg/ha de atrazine (i.a.) + 0,3 L de óleo mineral no consórcio com o capim-piatã. Médias seguidas de letras diferentes, na mesma coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05). Fonte: Adaptado de Vilela *et al.* (2017).

A diferença encontrada na produtividade de grãos de milho (Tabela 2) é explicada pelos autores pela ausência proposital do herbicida nicosulfuron na área de milho consorciado com capim-piatã, que causou maior competição dessa espécie com o milho, além da maior produção de massa de forragem. Devido à ausência de recomendações regionais de doses de herbicidas para controlar o crescimento inicial do capim-piatã, optou-se unicamente pela aplicação do herbicida atrazine para o controle de plantas daninhas de folhas largas.

Trogello *et al.* (2012) avaliaram os efeitos de quatro intensidades de pastejo (5, 15, 30 cm e sem pastejo) em pastagem de aveia-preta sobre o desenvolvimento inicial e a produtividade da cultura do milho semeado em sequência. Os autores observaram que não houve diferença significativa no índice de velocidade de emergência (IVE) entre os tratamentos, com média de 22,38. Em relação à produtividade média do milho, a única diferença significativa encontrada foi na altura de 5 cm, com produtividade média de 7250,78 kg/ha, que também apresentou a menor altura inicial de plantas. Já nos tratamentos de 15 e 30 cm e sem pastejo, obteve-se uma produtividade de 9071,08; 8694,34 e 9263,79 kg/ha, respectivamente. Logo, o tratamento mais pastejado (5 cm) resultou em menor produtividade, devido às condições desfavoráveis oferecidas à cultura no período inicial. O tratamento mais pastejado teve menor altura, o que pode resultar em

menor interceptação de luz e menor taxa fotossintética. As plantas sob menor radiação podem acumular menos biomassa e resíduo, que são essenciais para assegurar a produtividade da lavoura.

Silva *et al.* (2012) estudaram o desempenho do milho cultivado em sistema ILP sob PD. Os tratamentos eram compostos por quatro combinações de categoria animal (leves- 192±40,9 kg; pesadas- 278±41,2 kg) e pastagem (pura-azevém; diversificada- azevém, aveia-preta comum, trevo-branco e trevo-vermelho), submetidas ou não ao pastejo. Não houve efeito significativo das combinações categoria x pastagem em nenhuma característica produtiva do milho. Contudo, as áreas que foram pastejadas resultaram em maior população de plantas e rendimento de grãos. Segundo os autores, o maior rendimento de grãos deve-se em parte à maior população de plantas que, por sua vez, pode ser atribuída ao manejo adequado das pastagens e dos animais, proporcionando grande renovação do sistema radicular e distribuição mais uniforme da fitomassa residual (Carvalho *et al.*, 2011). Outro fator que pode ter contribuído para o maior rendimento do milho cultivado após o pastejo dos animais é a melhoria na ciclagem de nutrientes.

Um dos requisitos básicos dos sistemas de PD no Brasil é tanto a produção em quantidade adequada de resíduos vegetais quanto a qualidade apropriada, promovendo acúmulo de cobertura na superfície do solo e a ciclagem de nutrientes (Carvalho e Amabile, 2006). A suscetibilidade dos resíduos vegetais à decomposição é associada à sua composição química. De acordo com Correia e Andrade (2008), as transformações no processo de decomposição geralmente ocorrem na seguinte ordem: biodegradação rápida da maioria dos compostos solúveis em água e polissacarídeos, redução lenta dos compostos fenólicos solúveis em água e hemiceluloses e aumento relativo do conteúdo de ligninas e proteínas. Assim, Carvalho *et al.* (2012) avaliaram o efeito da composição química e das taxas de decomposição das plantas de cobertura (*U. ruziziensis*, *Cajanus cajan*, *Canavalia brasiliensis*, *Crotalaria juncea*, *Mucuna aterrima*, *Pennisetum glaucum*, *Raphanus sativus*, *Sorghum bicolor* e *Triticum aestivum*) na produtividade do milho. A diferença significativa encontrada na produtividade do milho foi observada com a utilização da *C. brasiliensis*, que proporcionou uma produção superior (7.953 kg/ha) em comparação ao *S. bicolor* e ao *T. aestivum* (média de 7.245 kg/ha). Conforme os autores, em sistemas de plantio direto, o *C. cajan*, o *S. bicolor*, o *T. aestivum* e a *M. aterrima* geram cobertura adequada do solo por resíduos vegetais, devido à maior proporção de lignina e consequentes taxas de decomposição mais lentas. Por outro lado, a *U. ruziziensis*, a *C. brasiliensis*, o *P. glaucum* e o *R. sativus* contribuem para uma

ciclagem mais rápida de nutrientes em razão de taxas de decomposição mais rápidas e, portanto, aumentam a produção agrícola em sistemas de plantio direto.

PRODUTIVIDADE DAS GRAMÍNEAS EM SISTEMA ILP

A desagregação do solo e a crescente incidência de doenças e de plantas daninhas constituem grandes dificuldades da atividade agrícola. A integração das atividades de produção de grãos e de pastagem resulta em melhorias para os atributos físicos do solo e favorece o controle de plantas daninhas, nematoides e doenças (Toledo-Souza *et al.*, 2008; Pacheco *et al.*, 2009).

Machado e Assis (2010) avaliaram a produção de palha, a qualidade bromatológica e a eficiência de controle de diferentes forrageiras (*U. ruziziensis*; *U. decumbens*; *U. brizantha* cv. Marandu e Xaraés; *Megathyrsus maximum* cv. Tanzânia e Mombaça, *M. maximum* x *M. infestans* cv. Massai; *Pennisetum americanum* cv. BRS 1501; e *Sorghum bicolor* cv. Santa Elisa) implantadas em sucessão à cultura da soja. As forrageiras *U. ruziziensis* e *U. decumbens*, por manterem-se em crescimento durante toda a estação seca, podem apresentar alto teor de proteína bruta (16,7 e 15%, respectivamente), alta DIVMO (79,7 e 70,9%, respectivamente), e pela facilidade de dessecação (média de 99,5%), podem ser mais bem aproveitadas na cobertura do solo. Contudo, estudos sobre avaliação do desempenho zootécnico dos animais são fundamentais, a fim de se obterem resultados conclusivos acerca do uso dessas forrageiras.

Machado e Assis (2010) e Ferreira *et al.* (2010) identificaram a *U. brizantha* como uma das melhores opções para a produção de forragem e palha. Porém, a eficiência de controle com herbicida glifosato é normalmente baixa e existem poucos estudos comparativos sobre os cultivares para implementação de sistema ILP. Dessa forma, Machado e Valle (2011) avaliaram o desempenho agrônômico de genótipos de *U. brizantha* (cv. Marandu, cv. MG4, cv. Xaraés, cv. Piatã, cv. Arapoty e cv. B6) em sucessão à soja, para uso em sistemas de ILP, de 2007 a 2010. Entre os genótipos, a maior produção de forragem foi obtida pelo cultivar Xaraés, com média entre os anos de 4.870 kg de MS/ha, e o cultivar B6, com média de 5.319 kg de MS/ha, sem diferença significativa. Porém, o cultivar Xaraés apresentou menores teores de proteína bruta (média de 13%) e de digestibilidade *in vitro* da matéria orgânica (média de 67%), enquanto o cultivar B6 foi um dos que apresentaram a menor relação folha/colmo, que

pode causar uma limitação física à ingestão de matéria seca, pois a fração colmo é a que apresenta pior qualidade.

Em relação à facilidade de dessecação com o herbicida glifosato, os cultivares MG4 (60,2% a 95,8%) e B6 (71,3 a 96%) foram os mais suscetíveis. Porém, houve variação na eficiência de controle do glifosato de acordo com o ano, que pode estar relacionada à baixa precipitação pluvial no ano de 2008, ocorrida após a aplicação do herbicida, que, segundo os autores, dificultou a translocação do herbicida nas plantas. Assim, os autores destacam os cultivares Xaraés e B6 por apresentarem características desejáveis para compor sistemas de ILP.

PRODUTIVIDADE DA AVEIA E AZEVÉM EM SISTEMA ILP

De acordo com Kunrath *et al.* (2014), o sucesso do sistema ILP sob PD depende do gerenciamento adequado da pastagem. Isso se deve ao fato de o pastejo moderado estimular a produção de biomassa e renovar os tecidos do dossel (renovação das folhas), bem como promover o perfilhamento. Por outro lado, o pastejo severo compromete a cobertura da biomassa, devido à remoção excessiva da área foliar, gerando áreas de solo descoberto e compactação do solo (Carvalho *et al.*, 2010A, B). À vista disso, Kunrath *et al.* (2014) determinaram metas de manejo para um pasto misto de aveia x azevém em rotação com soja, em um sistema ILP sob PD. Nesse experimento, avaliou-se a influência da altura da pastagem no acúmulo de forragem e de resíduo, aliada ao desempenho animal, durante dois anos (2009 e 2010). A massa de resíduos variou de 1090 a 3360 kg de MS/ha e de 730 a 3.280 kg de MS/ha em 2009 e 2010, respectivamente. Foi observado aumento linear de 81 kg MS/ha para cada cm de aumento na altura do pasto ($Y = 79,1 + 81,0x$; $R^2 = 0,9480$; $p < 0,0001$). Os valores da massa de forragem no final da fase de pastejo também aumentaram linearmente ($Y = 726,0 + 161,6x$; $R^2 = 0,8328$; $p < 0,0001$) com a altura do pasto.

A taxa média de acúmulo de forragem registrada nos tratamentos de pastejo ($39,2 \pm 16,4$ kg MS/ha) foi superior à do tratamento sem pastejo ($30,0 \pm 10,7$ kg MS/ha). Na ausência de pastejo, as plantas crescem continuamente até atingirem um equilíbrio entre o surgimento de folhas novas e a senescência de folhas velhas, que resulta em menor perfilhamento (Lemaire e Gastal, 2009). O resultado geral dessas alterações é uma diminuição no acúmulo total de forragem. Em altas intensidades de pastejo, a eficiência da conversão de forragem no peso corporal é menor e causa níveis inadequados de massa residual de forragem no final da fase de pastejo, o que pode afetar os atributos do solo

(Souza *et al.*, 2008, 2009) e ameaçar a sustentabilidade do sistema ILP. Dessa forma, considerando o equilíbrio entre as eficiências de pastejo e o resíduo ideal de massa de forragem para o sistema ILP, os autores sugerem que sejam usadas alturas entre 20 e 30 cm. Essas alturas permitem alta produção animal e quantidade adequada de resíduos de biomassa para cobertura do solo.

Wesp *et al.* (2016) também avaliaram a influência da altura da pastagem mista de aveia e azevém na produção de forragem para PD. De acordo com os autores, a altura ótima do pasto está próxima a 30 cm, que corresponde à massa de forragem em torno de 3.800 kg MS/ha. Existe uma possibilidade de aumentar a produção animal por área manejando-se pastagens com alturas mais baixas, mas não abaixo de 20 cm, uma vez que o ganho individual é muito prejudicado. Considerando-se um sistema integrado de PD, a produção animal durante a fase de pastagem não deve ocorrer às custas da cobertura do solo. Portanto, as metas de pastagem temperadas anuais típicas, rotativas com soja, devem permanecer com altura entre 20 e 30 cm.

O interesse em sistemas integrados de lavoura-pecuária como estratégia para o uso sustentável da terra tem aumentado devido ao seu potencial em permitir mais diversificação de renda e criar menos impactos negativos no meio ambiente (Lemaire *et al.*, 2014; Moraes *et al.*, 2014). A incorporação de um componente arbóreo nos sistemas integrados pode aumentar a produtividade desses sistemas, além do sequestro de C no solo e na biomassa lenhosa das árvores (Udawatta e Jose, 2012). Porém, os efeitos do sombreamento podem diminuir a produção e o valor nutritivo das forragens (Pontes *et al.*, 2017). Logo, Pontes *et al.* (2018) compararam os sistemas de ILP e integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) e duas doses de nitrogênio (90 e 180 kg N/ha) em relação ao desempenho das pastagens mistas de aveia e azevém. Independentemente da dose de nitrogênio, a produção de forragem do sistema ILP (média de 2015 kg MS/ha) foi superior ao sistema ILPF (média de 836,5 kg MS/ha), ou seja, a dose de nitrogênio não foi capaz de controlar o efeito do sombreamento. O efeito competitivo das árvores no crescimento das pastagens no experimento de Pontes *et al.* (2018) foi tão acentuado, que se refletiu no desempenho dos animais. De acordo com Pontes *et al.* (2017), as gramíneas anuais alocam carbono para o alongamento do caule, em detrimento do desenvolvimento e do perfilhamento das folhas, o que reduziu a produção de pastagens em sombreamento.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os sistemas de ILP sob PD têm grande capacidade de promover a diversificação nos sistemas de produção e melhorar a produção das lavouras. O manejo adequado de animais e culturas, com base nos princípios agrícolas conservacionistas, resulta em um sistema único que pode resolver o dilema produção *versus* conservação.

Os sistemas de ILP apresentam maiores rendimentos das culturas e desempenho sustentável do sistema em relação às áreas não pastejadas, devido à eficiência do uso de nutrientes, da reciclagem de nutrientes e da manutenção da qualidade do solo. Com intensidades de pastejo moderadas e rotações de culturas, os sistemas ILP sob PD podem fornecer um meio para intensificação sustentável. Contudo, ainda são necessários mais estudos em solos, em diferentes biomas e com diferentes gramíneas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Assmann, T. S.; Ronzelli Júnior, P.; Moraes, A. D.; Assmann, A. L.; Koehler, H. S.; Sandini, I. 2003. Rendimento de milho em áreas de integração lavoura-pecuária sob o sistema de plantio direto, em presença e ausência de trevo branco, pastejo e nitrogênio. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 27, n. 4, p. 675-683, doi: 10.1590/S0100-06832003000400012
- Ball, D. M.; Hoveland, C. S.; Lacefield, G. 1991. Southern Forages. Potash & Phosphate Institute, Atlanta.
- Bell, L. W. e Moore, A. D. 2012. Integrated crop–livestock systems in Australian agri-culture: trends, drivers and implications. *Agricultural Systems*, v. 111, p. 1–12, doi: 10.1016/j.agsy.2012.04.003.
- Bicki, T. J.; Siemens, J. C. 1991. Crop response to wheel traffic soil compaction. *Transactions of the ASAE*, v. 34, n. 3, p. 909-913, doi: 10.13031 / 2013.31748.
- Carvalho A. M. e Amabile R. F. 2006. Plantas condicionadoras de solo: Interações edafoclimáticas, uso e manejo. In: CARVALHO, A. M. e AMABILE, R. F., eds. Cerrado: adubação verde. Brasília, Embrapa Cerrados, 2006. p. 143-170.
- Carvalho, A. M.; Coelho, M. C.; Dantas, R. D.; Fonseca, O. P.; Júnior, R. G.; Figueiredo, C. C. 2012. Chemical composition of cover plants and its effect on maize yield in no-tillage systems in the Brazilian savanna. *Crop and Pasture Science*, v. 63, n. 12, p. 1075-1081, doi: 10.1071/CP12272.
- Carvalho, M. A. C. de; Athayde, M. L. F.; Soratto, R. P.; Alves, M. C.; Arf, O. 2004. Soja em sucessão a adubos verdes no sistema plantio direto e convencional em solo de Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 39, p. 1141-1148, doi: 10.1590/S0100-204X2004001100013.
- Carvalho, P. C. F.; Anghinoni, I.; de Moraes, A.; de Souza, E. D.; Sulc, R. M.; Lang, C. R.; Flores, J. P. C.; Lopes, M. L. T.; Silva, J. L. S.; Conte, O.; Wesp, C. L.; Bayer, C. 2010A. Managing grazing animals to achieve nutrient cycling and soil improvement in no-till integrated systems. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v. 88, n. 2, p. 259–273, doi: 10.1007/s10705-010-9360-x.
- Carvalho, P. C. F.; Anghinoni, I.; Kunrath, T. R.; Martins, A. P.; Costa, S. E. V. G. A.; Silva, F. D.; Assmann, J. M.; Lopes, M. L. T.; Pfeifer, F. M.; Conte, O.; Souza, E. D. 2011. Integração soja-bovinos de corte no Sul do Brasil. UFRGS, Porto Alegre. (Boletim técnico).
- Carvalho, P. C. F.; Rocha, L. M.; Baggio, C.; Macari, S.; Kunrath, T. R.; Moraes, A. 2010B. Structural and productive characteristic of oat and ryegrass mixed pastures managed in four intensities with variable stocking rate. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 39, p. 1857–1865, doi: 10.1590/S1516-35982010000900001.
- Castagnara, D. D.; Bulegon, L. G.; Zoz, T.; Rossol, C. D.; Berté, L. N.; de Oliveira, P. S. R.; Neres, M. A. 2014. Cultivo consorciado de soja com braquiária. *Bioscience Journal*, v. 30, n. 3.
- Chavez, L. F.; Escobar, L. F.; Aghinoni, I.; Carvalho, P. C. F.; Meurer, E. 2011. Diversidade metabólica e atividade microbiana no solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob intensidades de pastejo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 46, p. 1254–1261, doi: 10.1590/S0100-204X2011001000020.
- Conab - Companhia Nacional de Abastecimento. (2019). Acompanhamento da safra brasileira de grãos - Safra 2018/2019. Terceiro levantamento, dezembro de 2019. Companhia Nacional de Abastecimento. Brasília: Conab.
- Cordeiro, L. A. M.; Vilela, L.; Kluthcouski, J.; Marchao, R. L. (Ed.). Integração lavoura-pecuária-floresta: o produtor pergunta, a Embrapa responde. Brasília, DF: Embrapa, 2015. p. 141-162. (Coleção 500 perguntas, 500 respostas).
- Correia, M. E. F. e Andrade, A. G. 2008. Formação de serapilheira. In: SANTOS, G. A. e CAMARGO, F. A. O., eds. Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre, Genesis, 1999. p. 197-225.
- Darolt, M. R. Princípios para implantação e manutenção do sistema. In: DAROLT, M.R. Plantio direto: pequena propriedade sustentável. Londrina: IAPAR, 1998, p. 16-45. (IAPAR. Circular, 101).
- Debiasi, H.; Franchini, J. C. 2012. Atributos físicos do solo e produtividade da soja em sistema de integração lavoura-pecuária com braquiária e soja. *Ciência Rural*, v. 42, n. 7, p. 1180-1186, doi: 10.1590/S0103-84782012000700007

- FAO, 2014. Building a Common Vision for Sustainable Food and Agriculture. Principles and Approaches. (Rome). Disponível em: < <http://www.fao.org/3/a-i3940e.pdf> >. Acessado em: 21 set. 2020.
- Ferreira, A. C. de B.; Lamas, F. M.; Carvalho, M. da C. S.; Salton, J. C.; Suassuna, N. D. 2010. Produção de biomassa por cultivos de cobertura do solo e produtividade do algodoeiro em plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 45, p. 546-553, doi: 10.1590/S0100-204X2010000600003.
- Ferreira, G. A.; Oliveira, P. S. R. D.; Alves, S. J.; Costa, A. C. T. D. 2015. Soybean productivity under different grazing heights of *Brachiaria ruziziensis* in an integrated crop-livestock system. *Revista Ciência Agronômica*, v. 46, n. 4, p. 755-763, doi: 10.5935/1806-6690.20150063.
- Flores, J. P. C.; Cassol, L.C.; Anghinoni, I.; Carvalho, P. C.F. 2008. Atributos químicos do solo em função da aplicação superficial de calcário em sistema de integração lavoura-pecuária submetido a pressões de pastejo em plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, p. 2385–2396, doi: 10.1590/S0100-06832008000600017.
- Flores, J. P. C.; Anghinoni, I.; Cassol, L. C.; Carvalho, P. C. F.; Leite, J. G. B.; Fraga, T. I. 2007. Atributos físicos do solo e rendimento de soja em sistema plantio direto em integração lavoura-pecuária com diferentes pressões de pastejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 31, p. 771-780, doi: 10.1590/S0100-06832007000400017.
- Franzluebbbers, A. J. 2009. Soil quality in integrated crop–livestock systems with conservation and conventional Tillage. In: Triennial Conference, 18, Izmir-Turkey.
- Garrett, R. D.; Niles, M. T.; Gil, J. D. B.; Gaudin, A.; Chaplin-Kramer, R.; Assmann, A.; Assmann, T. S.; Brewer, K.; Carvalho, P. C. F.; Cortner, O.; Dynes, R.; Garbach, K.; Kebreab, E.; Mueller, N.; Peterson, C.; Reis, J. C.; Snow, V.; Valentim, J. 2017. Social and ecological analysis of commercial integrated crop livestock systems: current knowledge and remaining uncertainty. *Agricultural Systems*, v. 155, p. 136–146, doi: 10.1016/j.agsy.2017.05.003.
- Kunrath, T. R.; Cadenazzi, M.; Brambilla, D. M.; Anghinoni, I.; de Moraes, A.; Barro, R. S.; Carvalho, P. C. F. 2014. Management targets for continuously stocked mixed oat×annual ryegrass pasture in a no-till integrated crop–livestock system. *European Journal of Agronomy*, v. 57, p. 71-76, doi: 10.1016/j.eja.2013.09.013.
- Lang, C. R.; Pelissari, A.; Moraes, A.; Sulc, M. R.; Carvalho, P. C. F.; Lopes, E. C. P. 2011. Integração Lavoura-Pecuária: Eficiência de uso do nitrogênio na cultura do Milho. *Scientia Agrária*, v. 12, n. 1, p. 53-60.
- Lemaire, G. e Gastal, F. 2009. Quantifying crop responses to nitrogen deficiency and avenues to improve nitrogen use efficiency. In: SADARS, V. O. e CALDERINI, D. F., eds, Crop physiology: Applications for genetic improvement and agronomy. Academic Press San Diego, 2009. p. 171-211.
- Lemaire, G.; Franzluebbbers, A.; Carvalho, P. C. F.; Dedieu, B. 2014. Integrated crop-livestock systems: strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 190, p. 4-8, doi: 10.1016/j.agee.2013.08.009.
- Lopes, M. L. T.; Carvalho, P. C. D. F.; Anghinoni, I.; Santos, D. T. D.; Aguinaga, A. A. Q.; Flores, J. P. C.; Moraes, A. D. 2009. Sistema de integração lavoura-pecuária: efeito do manejo da altura em pastagem de aveia preta e azevém anual sobre o rendimento da cultura da soja. *Ciência Rural*, v. 39, n. 5, p. 1499-1506, doi: 10.1590/S0103-84782009005000096.
- Lunardi, R.; Carvalho, P. C. D. F.; Trein, C. R.; Costa, J. A.; Cauduro, G. F.; Barbosa, C. M. P.; Aguinaga, A. A. Q. 2008. Rendimento de soja em sistema de integração lavoura-pecuária: efeito de métodos e intensidades de pastejo. *Ciência Rural*, v. 38, n. 3, p. 795-801, doi: 10.1590/S0103-84782008000300032.
- Machado, L. A. Z. e Assis, P. G. G. D. 2010. Produção de palha e forragem por espécies anuais e perenes em sucessão à soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 45, n. 4, p. 415-422, doi: 10.1590/S0100-204X2010000400010.
- Machado, L. A. Z. e Valle, C. B. D. 2011. Desempenho agrônômico de genótipos de capim-braquiária em sucessão à soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 46, n. 11, p. 1454-1462, doi: 10.1590/S0100-204X2011001100006.
- Machado, L. A. Z.; Fabrício, A. C.; Assis, P. G. G. D.; Maraschin, G. E. 2007. Estrutura do dossel em pastagens de capim-Marandu submetidas a quatro ofertas de lâminas foliares. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 42, p. 1495-1501, doi: 10.1590/S0100-204X2007001000018.

- Marchão, R. L.; Balbino, L. C.; da Silva, E. M.; dos Santos, J. D. D. G.; de Sá, M. A. C.; Vilela, L.; Becquer, T. 2007. Qualidade física de um Latossolo Vermelho sob sistemas de integração lavoura-pecuária no Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 42, p. 873-882.
- Mattei, E.; de Oliveira, P. S. R.; Rampim, L.; de Moraes Rego, C. A. R.; Bartzen, B. T.; Vengen, A. P. 2020. Características agronômicas e produtividade da soja em sistema de integração lavoura-pecuária. *Research, Society and Development*, v. 9, n. 10, p. e7909109114-e7909109114, doi: 10.33448/rsd-v9i10.9114.
- Moraes, A.; Carvalho, P. C. F.; Anghinoni, I.; Lustosa, S. B. C.; de Andrade, S. E. V. G.; Kunrath, T. R. 2014. Integrated crop–livestock systems in the Brazilian subtropics. *European Journal of Agronomy*, v. 57, p. 4-9, doi: 10.1016/j.eja.2013.10.004.
- Muraishi, C. T.; Leal, A. J. F.; Lazarini, E.; Rodrigues, L. R.; Gomes Junior, F. G. 2005. Manejo de espécies vegetais de cobertura do solo e produtividade do milho e da soja em semeadura direta. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v.27, n. 2, p. 199-206, doi: 10.4025/actasciagron.v27i2.1903.
- Pacheco, L. P.; Pires, F. R.; Monteiro, F. P.; Procópio, S. D. O.; Assis, R. L. D.; Carmo, M. L. D.; Petter, F. A. 2008. Desempenho de plantas de cobertura em sobressemeadura na cultura da soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 43, n. 7, p. 815-823.
- Peterson, C. A.; Eviner, V. T.; Gaudin, A. C. M. 2018. Ways forward for resilience research in agroecosystems. *Agricultural Systems*, 162, 19–27, doi: 10.1016/j.agsy.2018.01.011.
- Pontes, L. D. S.; Barro, R. S.; Savian, J. V.; Berndt, A.; Moletta, J. L.; Porfírio-da-Silva, V.; Bayer, C.; de Faccio Carvalho, P. C. 2018. Performance and methane emissions by beef heifer grazing in temperate pastures and in integrated crop-livestock systems: The effect of shade and nitrogen fertilization. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 253, p. 90-97, doi: 10.1016/j.agee.2017.11.009.
- Pontes, L. D. S.; Carpinelli, S.; Stafin, G.; Porfírio-da-Silva, V.; dos Santos, B. R. C. 2017. Relationship between sward height and herbage mass for integrated crop-livestock systems with trees. *Grassland Science*, v. 63, p. 29–35, doi: 10.1111/grs.12147.
- Ryschawy, J.; Choisis, N.; Choisis, J. P.; Joannon, A.; Gibon, A. 2012. Mixed crop-livestock systems: an economic and environmental-friendly way of farming?. *Animal: an international journal of animal bioscience*, v. 6, n. 10, p. 1722, doi: 10.1017/S1751731112000675.
- Salton, J. C.; Mielniczuk, J.; Bayer, C. 2005. Matéria orgânica do solo na integração lavoura-pecuária em Mato Grosso do Sul. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste.
- Silva, H. A. D.; Moraes, A. D.; Carvalho, P. C. D. F.; Fonseca, A. F. D.; Dias, C. T. D. S. 2012. Maize and soybeans production in integrated system under no-tillage with different pasture combinations and animal categories. *Revista Ciência Agronômica*, v. 43, n. 4, p. 757-765, doi: 10.1590/S1806-66902012000400018.
- Silveira, M. C. T. da. Caracterização morfogênica de oito cultivares do gênero *Brachiaria* e dois do gênero *Panicum*. 2006. 91p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- Silveira, M. C. T. da; Nascimento Júnior, D. do; Silva, S. C. da; Euclides, V. P.; Montagner, D. B.; Sbrissia, A. F.; Rodrigues, C. S.; Sousa, B. M. de L.; Pena, K. da S.; Vilela, H. H. 2010. Morphogenetic and structural comparative characterization of tropical forage grass cultivars under free growth. *Scientia Agricola*, v. 67, p. 136-142, doi: 10.1590/S0103-90162010000200002.
- Souza, E. D.; Costa, S. E. V. G. A.; Anghinoni, I.; Carvalho, P. C. F.; Andriqueti, M.; Cao, E. 2009. Soil organic carbon and nitrogen stocks in an untilled crop–livestock integration system under different grazing intensities. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 33, p. 1829–1836, doi: 10.1590/S0100-06832009000600031.
- Souza, E. D.; Costa, S. E. V. G. A.; Lima, C. V. S.; Anghinoni, I.; Meurer, E. J.; Carvalho, P. C. F. 2008. Organic carbon and microbial phosphorus in a no-till integrated crop–livestock system under different grazing intensities. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, p. 1273–1282, doi: 10.1590/S0100-06832008000300035.
- Stark, F.; González-García, E.; Navegantes, L.; Miranda, T.; Pocard-Chapuis, R.; Archimède, H.; Moulin, C.H. 2018. Crop-livestock integration determines the agroecological performance of mixed farming systems in Latino-Caribbean farms. *Agronomy for sustainable development*, v. 38, n. 1, p. 4, doi: 10.1007/s13593-017-0479-x.

- Szymczak, L. S.; Carvalho, P. C. F.; Lurette, A.; de Moraes, A.; Nunes, P. A.A.; Martins, A. P.; e Moulin, C. H. 2020. Diversificação do sistema e manejo do pasto como práticas agrícolas que aumentam a resiliência: O caso da integração lavoura-pecuária. *Agricultural Systems*, v. 184, p. 102904, doi: 10.1016/j.agsy.2020.102904.
- Toledo-Souza, E. D.; Silveira, P. M.; Junior, M. L.; Café Filho, A. C. 2008. Sistemas de cultivo, sucessões de culturas, densidade do solo e sobrevivência de patógenos de solo. *Pesquisa agropecuária brasileira*, v. 43, n. 8, p. 971-978.
- Trein, C. R.; Cogo, N. P.; Levien, R. 1991. Métodos de preparo do solo na cultura do milho e ressemeadura do trevo na rotação aveia+trevo/milho, após pastejo intensivo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 15, n. 1, p. 105-111.
- Trogello, E.; Modolo, A. J.; Carnieletto, R.; Kolling, E. M.; Scarsi, M.; Sgarbossa, M. 2012. Desenvolvimento inicial e produtividade da cultura do milho no sistema de integração lavoura-pecuária. *Revista Ceres*, v. 59, n. 2, p. 286-291, doi: 10.1590/S0034-737X2012000200019.
- Udawatta, R. P. e Jose, S.; 2012. Agroforestry strategies to sequester carbon in temperate North America. *Agroforestry Systems*, v. 86, p 225-242, doi: 10.1007/s10457-012-9561-1.
- Vilela, L.; Manjabosco, E.; Marchao, R.; Guimaraes Junior, R. 2017. "Boi Safrinha" na Integração Lavoura-Pecuária no Oeste Baiano. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 6 p. (Embrapa Cerrados. Circular Técnica, 35).
- Wesp, C. D. L.; Carvalho, P. C. D. F.; Conte, O.; Cadenazzi, M.; Anghinoni, I.; Bremm, C. 2016. Steers production in integrated crop-livestock systems: pasture management under different sward heights. *Revista Ciência Agronômica*, v. 47, n. 1, p. 187-194, doi: 10.5935/1806-6690.20160022.

CAPÍTULO 9

DESEMPENHO DE BOVINOS EM SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA

Pamella Grossi de Sousa, Diogo Gonzaga Jayme, Lúcio Carlos Gonçalves, Alan Figueiredo de Oliveira, Rafael Araújo de Menezes, Guilherme Lobato Menezes, Frederico Patrus Ananias de Assis Pires, Matheus Anchieta Ramirez

RESUMO

A integração lavoura-pecuária é uma solução compatível com as atuais demandas da sociedade e do mercado consumidor em relação à produção, conservação e sustentabilidade. A introdução de bovinos nesse sistema possibilita maior eficiência no uso da terra e modifica a dinâmica da ciclagem de nutrientes no solo, onde a cultura em sucessão pode ser beneficiada quando a intensidade de pastejo é manejada adequadamente. Entretanto, existe grande resistência concernente à utilização de bovinos em áreas destinadas à lavoura. O fato de os animais causarem prejuízos é questionável. Esse efeito é dependente da taxa de lotação e da massa de forragem existente na pastagem. Os agregados do solo respondem positivamente à presença do animal. Além disso, em intensidades de pastejo adequadas, os animais caminham menos e consomem mais, tendo como consequência maior desempenho. Diversos estudos comprovam que é possível alcançar bons ganhos de peso, de 0,6 kg/animal/dia até 1,5 kg/animal/dia, durante o período da seca. Nesse período, normalmente as áreas de lavoura não são utilizadas para produção de grãos, além de ser uma época em que geralmente os animais perdem peso. Essa variação de ganho de peso ocorre devido às diferentes culturas utilizadas como pastagem, ao grupo genético dos animais e à carga animal empregada. É importante que essas pastagens sejam utilizadas da maneira mais eficiente possível. Nesse aspecto, o estabelecimento e o manejo da pastagem e a escolha da categoria animal têm grande relevância para o sucesso e a lucratividade do sistema.

INTRODUÇÃO

Segundo estimativas da FAO (2016), aproximadamente 15% da população mundial é desnutrida. Além disso, nas próximas décadas, estima-se um aumento da população mundial de aproximadamente 6,5 para 9,2 bilhões até 2050, o que pode ser acompanhado de fome global. Como resultado, é necessário o aumento da produtividade dos sistemas agrícolas, sem afetar negativamente o ambiente (Fraser *et al.*, 2014).

Uma boa alternativa seria os sistemas de integração lavoura-pecuária (ILP), impulsionados pela demanda de expansão da produção mundial de alimentos para o futuro (Wirsenius *et al.*, 2010). Esses sistemas podem aproveitar áreas já ocupadas e melhorar a sustentabilidade da agricultura e da pecuária. A ILP consiste em sistemas de produção que integram empresas agrícolas e pecuárias temporalmente, ou seja, simultânea ou sequencialmente (Moraes *et al.*, 2014). Segundo Anghinoni *et al.* (2013), a ILP é um sistema de produção em que o dilema produtividade *versus* conservação tem uma solução compatível com as atuais demandas da sociedade e do mercado consumidor.

No Brasil, o principal sistema de criação dos bovinos é o extensivo. No entanto, esses sistemas geralmente são associados a índices de baixa produtividade, devido ao gerenciamento incorreto, que leva à degradação de pastagens. O uso do sistema de ILP para a recuperação de pastagens degradadas, atualmente, é uma política do Governo Federal brasileiro (Plano ABC, 2012). Além de recuperação de áreas degradadas, essa estratégia pode reduzir a expansão de áreas para incorporação de novas pastagens (Latawiec *et al.*, 2014).

No atual contexto social e econômico, não há justificativa para que essas áreas permaneçam improdutivas ao longo do ano. De acordo com Moraes *et al.* (2014), a principal barreira para a adoção de um sistema de ILP é o paradigma dos impactos negativos do animal nos sistemas de cultivo. Porém, os sistemas de cultivo podem se beneficiar da rotação ou da sucessão com pasto, o que pode intensificar o uso da terra e fornecer um sistema produtivo estável. O gado seria integrado como uma opção de diversificação, permitindo uma renda adicional. Objetivou-se com este capítulo apresentar dados sobre o desempenho de bovinos em sistemas de integração lavoura-pecuária.

PRINCÍPIOS DA ILP

Os principais benefícios potenciais da ILP são: melhoria das propriedades químicas, físicas e biológicas do solo; redução da incidência de doenças, de insetos (pragas) e de plantas daninhas; maior produtividade dos componentes (planta e animal); e menores riscos de produção e financeiros, pela diversificação de atividades (Vilela *et al.*, 2017). Moraes *et al.* (2002) relatam alguns conceitos básicos priorizados na adoção do sistema de integração lavoura-pecuária: o plantio direto (PD), a rotação de cultivos, o manejo correto das pastagens e a produção animal intensiva em pastejo. Isso é importante para priorizar a manutenção da estrutura do pasto, otimizar a colheita de forragem pelo

animal em pastejo e manter uma lotação adequada, que não venha a comprometer a produção da lavoura.

De acordo com Vilela *et al.* (2017), existem três modalidades de ILP: (a) fazendas de pecuária que introduzem culturas de grãos (arroz, milho, sorgo, soja) em áreas de pastagens, com o objetivo de recuperar a produtividade dos pastos; (b) fazendas que, sistematicamente, adotam a rotação de pasto e lavoura para intensificar o uso da terra e se beneficiar do sinergismo entre as duas atividades; e (c) fazendas especializadas em lavouras de grãos, que utilizam as gramíneas forrageiras para melhorar a cobertura de solo para o sistema de plantio direto e, na entressafra, utilizar essa forragem na alimentação de bovinos no período da seca.

Para conservar o solo produtivo por um longo período, é necessário desenvolver sistemas de cultivo que permitam manter ou melhorar a sua estrutura. Segundo Pérès *et al.* (2013), um método prático e eficiente de modificar a estrutura do solo é a inclusão de espécies forrageiras nos sistemas de produção. Lal (1991) relata que a rotação entre culturas anuais e pastagens é uma das melhores alternativas para obter manejo sustentável do solo e da água nos trópicos. Para regenerar a estrutura do solo, é necessário promover o aumento da sua agregação, o que pode ser obtido pelo aumento da matéria orgânica no solo (Castro Filho *et al.*, 1991).

A IMPORTÂNCIA DA PECUÁRIA NO SISTEMA DE ILP

A pecuária de corte brasileira caracteriza-se pela exploração extensiva das pastagens, com pouca eficiência produtiva. O uso intensivo do solo associado a fatores como a formação inadequada da pastagem, o superpastejo e a falta de manutenção do pasto levam à degradação da pastagem (Carvalho *et al.*, 2009).

A degradação de pastagens pode refletir em perdas de produtividade significativas na fase de engorda (Balbino *et al.*, 2011). A produção de bovinos de corte está baseada na sua produção a pasto. Dessa forma, a eficiência produtiva depende diretamente da qualidade e da disponibilidade da forragem produzida (Brâncio *et al.*, 2003).

A utilização de sistemas que envolvem o pastejo animal pode acarretar mudanças nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo. Essas mudanças podem afetar o crescimento e o desenvolvimento radicular (Silva *et al.*, 2000) bem como a produção das culturas implantadas em sucessão ao pastejo (Albuquerque *et al.*, 2001). A magnitude dessas alterações, nos atributos físicos do solo, é dependente do manejo aplicado nas áreas

em pastejo, que pode variar com a espécie de planta, a intensidade e o tempo de pastejo, a espécie e a categoria animal (Salton *et al.*, 2002).

Em relação às propriedades químicas do solo, o pastejo pode melhorar a fertilidade, devido ao acúmulo de matéria orgânica, à alteração na reciclagem de nutrientes e à melhoria na eficiência do uso de fertilizantes (Lustosa, 1998). Tracy e Zhang (2008) observaram que a integração de gado e pastagem em rotação com cultura produtora de grãos aumenta a qualidade e a quantidade da matéria orgânica do solo, em comparação ao cultivo contínuo. As incorporações de matéria orgânica vindas de dejetos, resíduos da pastagem e resíduos culturais contribuem para o aumento das concentrações de carbono.

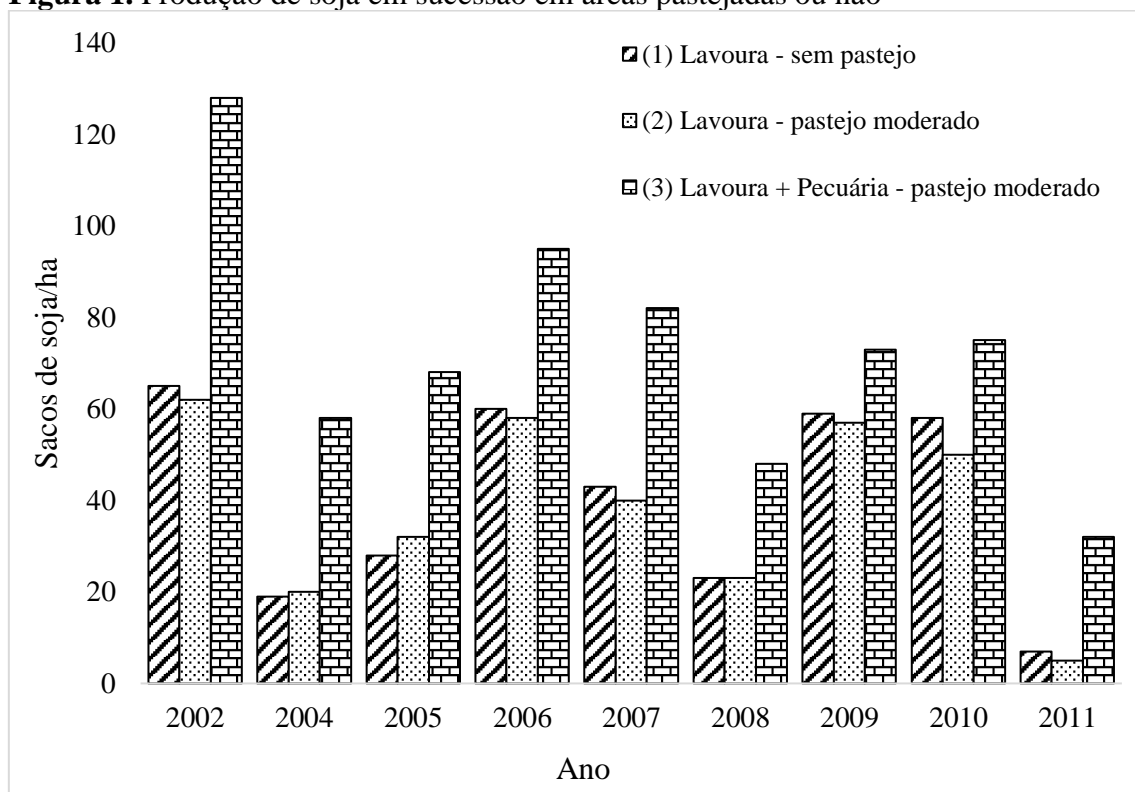
De acordo com Souza *et al.* (2010B), o uso de sistemas de ILP por um longo período sob plantio direto, em condições de moderada carga animal (cerca de dois animais por hectare), promove menor saída de carbono e de nitrogênio por respiração microbiana. Com relação à microbiologia do solo, o sistema de ILP é capaz de aumentar a diversidade microbiana em comparação a sistemas com plantas de cobertura e produção de grãos (Chávez *et al.*, 2011).

Segundo Anghinoni *et al.* (2013), o efeito benéfico dos sistemas de ILP utilizando-se PD com pastejo em intensidades adequadas é devido à melhor relação entre acumulação de massa de raízes e parte aérea. Nesse sistema ocorre mínimo revolvimento do solo e, portanto, pouca incorporação mecânica dos resíduos vegetais, diminuindo a sua oxidação. Além disso, outro fator que contribui para o acúmulo de matéria orgânica no solo em profundidade é o transporte de resíduos vegetais da superfície do solo pela sua macro e mesofauna. Esse transporte é superior em sistemas integrados em relação aos puros.

O fato de os animais causarem prejuízos nas características físicas do solo pelo efeito do pisoteio é questionável. Esse efeito depende da taxa de lotação empregada e da massa de forragem existente na pastagem (Carvalho *et al.*, 2007). Em intensidades de pastejo moderadas, os animais caminham menos e ingerem mais forragem (Baggio *et al.*, 2009), tendo como consequência maior desempenho. Além disso, os agregados do solo respondem positivamente à presença do animal, assim como outros atributos físicos e químicos do solo (Anghinoni *et al.*, 2013). Essa síntese contraria o paradigma do senso comum, segundo o qual os animais que pastam em áreas de plantio direto em rotação com a agricultura influenciam negativamente a safra subsequente. Existem evidências de que o animal beneficia o sistema, e não o contrário (George *et al.*, 2013; Franzluebbers e

Stuedemann, 2014). No entanto, o manejo adequado do pastejo é essencial para alcançar resultados positivos (Carvalho *et al.*, 2010B). Tão importante quanto as melhorias que os animais em pastejo podem gerar para os componentes planta e solo é a menor vulnerabilidade econômica em situações de riscos climáticos (Figura 1).

Figura 1. Produção de soja em sucessão em áreas pastejadas ou não



Fonte: Adaptado de Carvalho *et al.* (2011).

Os resultados ilustram os benefícios que a integração pode gerar para a operação agrícola. Nesse exemplo (Figura 1), a soja foi cultivada na primavera/verão. As misturas de aveia e azevém foram cultivadas no outono/inverno. Entre 2002 e 2011, a produção de soja (barras de nº 1) de áreas não pastejadas variou entre cinco e 70 sacas/ha. Em geral, os custos da colheita, expressos em sacas de soja equivalentes, variaram entre 25 e 30 sacas/ha. As barras de nº 2 representam o rendimento da soja em sucessão ao pastejo. Já as barras de nº 3 são os rendimentos da soja somados ao rendimento de carne bovina transformado em sacas de soja equivalentes, para expressar o rendimento de uma unidade de terra na mesma área de produção agrícola e pecuária. O sistema de soja pura produziu, em média, 49 sacas/ha, enquanto a integração de soja e bovinos de corte produz o equivalente a 81 sacas/ha (Carvalho *et al.*, 2011). Isso mostra que o componente pecuária gera segurança para a prática agrícola. Como se pode observar, a produtividade da ILP é superior aos sistemas em monocultivo.

Com relação à porosidade e à densidade do solo, ainda que em lotação excessiva, os impactos têm sido restritos à camada superficial do solo (0-10 cm) e reversíveis (Flores *et al.*, 2007). Sistemas de ILP com intensidades de pastejo moderadas promovem melhor agregação do solo, comparados com os de alta intensidade de pastejo e com os não pastejados (Souza *et al.*, 2010A). Efeitos positivos da integração lavoura-pecuária na agregação do solo também foram observados em condições tropicais por Salton (2005).

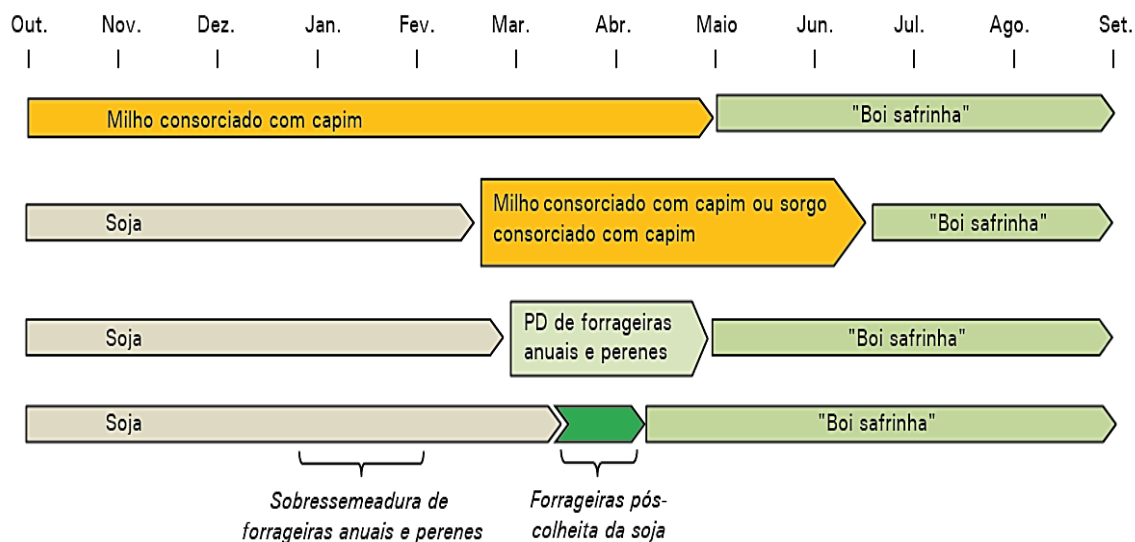
A estrutura do pasto pode variar em relação ao manejo imposto, que afeta consideravelmente a produção animal durante o ciclo da pastagem, além da quantidade de cobertura vegetal sobre o solo para a cultura em sucessão. Pastagens de inverno manejadas com lotações moderadas permitem maiores ganhos individuais devido ao aumento da disponibilidade de forragem para cada animal (Lopes *et al.*, 2008) e à melhor qualidade da forragem consumida (Aguinaga *et al.*, 2006; Wesp, 2010). Esse melhor desempenho ocorre porque, nessas condições, o animal consegue otimizar seu processo de pastejo, o que resulta em melhor oportunidade de seleção da dieta (Baggio *et al.*, 2008; Baggio *et al.*, 2009).

Dessa forma, pesquisas sobre os impactos do pastoreio em sistemas agrícolas têm gerado grande interesse. Segundo Carvalho *et al.* (2010A), a determinação da altura adequada da pastagem é muito importante para garantir a cobertura do solo e o desenvolvimento da cultura. Na produção animal, a massa de forragem (correlacionada com a altura do pasto) tem elevada correlação com o ganho médio diário e o ganho de peso vivo por unidade de área. Portanto, a massa ideal de forragem deve equilibrar as demandas de produção animal, manejo de culturas (demandas do plantio direto, controle de ervas daninhas e produtividade de grãos) e manejo de todo o sistema (elevação dos estoques de carbono e nitrogênio no solo).

Com a percepção dos benefícios da pastagem na produtividade da cultura em sucessão, os produtores têm ampliado suas áreas com ILP. A expressiva massa de forragem que pode ser obtida tem despertado o interesse dos produtores, visto que o excedente de forragem pode ser empregado na alimentação animal, que intensifica e diversifica o uso da terra. Vilela *et al.* (2017) denominaram esse sistema como “Boi Safrinha”, que se refere à utilização de bovinos (cria, recria e engorda) na entressafra, para aproveitar parte da forragem acumulada em consórcio com milho ou em sobresemeadura em soja. Os produtores de grãos e os pecuaristas, em razão de maior rentabilidade e menor ciclo, normalmente preferem a atividade de engorda de bovinos.

Vilela *et al.* (2017) desenvolveram um esquema (Figura 2) que exemplifica as principais alternativas de implantação de ILP, em condições de plantio direto (PD), denominada por eles como “Boi Safrinha”, adotadas pelos produtores do Cerrado. A escolha do produtor por uma dessas alternativas centra-se, principalmente, nas condições operacionais de cada fazenda (infraestrutura, cercas, aguadas, máquinas, etc.) e nas condições climáticas favoráveis aos cultivos de milho, sorgo e soja.

Figura 2. Alternativas potenciais de arranjos para implementação da integração lavoura-pecuária na modalidade “Boi Safrinha”, em diferentes regiões do Cerrado



Fonte: Adaptado de Vilela *et al.* (2017).

É importante ressaltar que a quantidade de forragem disponível condicionada pela intensidade de pastejo pode propiciar diferentes ambientes para a implantação da cultura de verão. Essa condição pode influenciar a produtividade da cultura, em razão de alterações dos atributos físicos e químicos do solo promovidas pelo pastejo anterior (Carvalho *et al.*, 2010A). Os resultados de Tracy e Zhang (2008) sugerem que a criação de gado no inverno, em intensidades de pastejo adequadas, pode reduzir os custos com a alimentação animal, sem afetar negativamente a qualidade do solo e a produtividade do sistema.

GANHO DE PESO DE BOVINOS DE CORTE

Nas estações de outono-inverno, as pastagens perenes apresentam baixas disponibilidade e qualidade, sendo um período crítico para a produção de bovinos de corte, o que resulta em baixos índices de produtividade do rebanho bovino. As fazendas que adotam a ILP como estratégia de produção agrícola podem se beneficiar da melhor estabilidade de produção de forragem para alimentar o rebanho durante o ano todo. De

acordo com Vilela *et al.* (2011), as pastagens são mais produtivas no período das chuvas em virtude da melhoria da fertilidade do solo pelas lavouras. No período da seca, além da palhada e dos subprodutos de colheita, os pastos recém-estabelecidos permanecem verdes e com qualidade e quantidade para conferir ganhos de peso positivos ao invés de perda de peso, comum nesse período do ano, na maioria das fazendas. Além disso, o uso de pastagens hibernais pode tornar viável a criação e a terminação de bovinos durante a entressafra, devido ao elevado valor nutritivo e ao alto potencial produtivo, aumentando a rentabilidade das empresas rurais com a redução do ciclo de produção (Santos *et al.*, 2004).

É de fundamental importância que essas pastagens sejam utilizadas da maneira mais eficiente possível. Nesse aspecto, o estabelecimento, a adubação, o manejo da pastagem e a escolha da categoria animal têm grande relevância para o sucesso e a lucratividade do sistema (Santos *et al.*, 2004).

Vilela *et al.* (2017) avaliaram o desempenho de bovinos predominantemente da raça Nelore em terminação, em pastos de braquiária (*Urochloa ruziziensis* ou *Urochloa brizantha* cv. Piatã) na safrinha, estabelecidos por meio do consórcio com milho em sistema de ILP. Segundo os autores, a *U. ruziziensis* é preferida pela maioria dos produtores. Dessa forma, o consórcio de milho com *U. brizantha* cv. Piatã foi introduzida visando à diversificação do sistema e ao aumento do potencial de produção de forragem. Além disso, o monocultivo pode favorecer maior incidência de insetos-praga. O desempenho das forrageiras expresso em taxa de lotação, em ganho de peso diário e por área no sistema de ILP (Tabela 1) indica o potencial de produção de carne na entressafra (período da seca).

Costa *et al.* (2017) observaram que novilhos pós-desmame em sistema de ILP obtiveram um ganho médio de peso de 0,651 kg por dia na estação seca (valores considerados bons para o período), sendo a dieta constituída de pasto *Urochloa brizantha* cv. Marandu e 0,08% do peso vivo (PV) de um suplemento proteico com 33% de PB.

Tabela 1. Taxa de lotação e ganho de peso (em equivalente carcaça) de bovinos em terminação na safrinha, em pastos de braquiária estabelecidos em consórcio com milho durante 134 dias de pastejo, na Fazenda Triunfo, Formosa do Rio Preto, BA

Sistema	Lotação ⁽¹⁾ (UA/ha)	Ganho de peso ⁽²⁾		
		(kg/animal/ dia) ⁽³⁾	(kg/ha)	(@/ha) ⁽⁴⁾
Milho + <i>U. ruziziensis</i>	0,73	0,80 b	50,6	3,4
Milho + <i>U. brizantha</i> cv. Piatã	1,35	0,98 a	103,2	6,9

⁽¹⁾ Ajustada para uma oferta de 10% (10 kg de massa seca/100 kg de peso vivo/ dia).

⁽²⁾ A partir do 20º dia pastejo, os animais receberam 2,5 kg/animal de suplementação no cocho composta da mistura de resíduos de pré-limpeza de soja e de milho mais sal mineral com ureia (66% de soja+30% de milho+4% de concentrado com 73% de NDT).

⁽³⁾ Médias seguidas de letras diferentes, na mesma coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

⁽⁴⁾ Rendimento médio de carcaça igual a 54,6%.

Fonte: Adaptado de Vilela *et al.* (2017).

Turini *et al.* (2015) avaliaram o desempenho de bovinos inteiros ou castrados ½ Angus + ½ Nelore em um sistema intensivo de integração lavoura-pecuária. Foram utilizadas pastagens de aveia e azevém durante o inverno e pastagens de grama-estrela-roxa e capim-mombaça durante o verão, em sucessão ao cultivo de soja. O ganho médio diário (GMD) do período de inverno, com média de 0,913 kg para machos e fêmeas, foi superior ao GMD do verão, com média de 0,670 kg. Esse resultado pode ser explicado pela diferença no tipo de gramínea ofertada, pela diferença de qualidade entre as forragens nos dois períodos e pela fase de crescimento em que os animais se encontravam. Durante o período de inverno, os animais alimentavam-se com gramíneas temperadas e apresentavam-se na fase inicial de recria, ou seja, período de maior desenvolvimento e crescimento. No período de verão, os animais ingeriram gramíneas tropicais e encontravam-se na fase final de recria e na fase de terminação ou engorda, na qual ocorre maior deposição de gordura e maior exigência energética.

Pontes *et al.* (2018) estudaram o desempenho de novilhas de corte em uma pastagem mista de *Lolium multiflorum* x *Avena strigosa* no período do inverno, durante três anos. O experimento foi conduzido em dois tipos diferentes de sistemas integrados, a ILP ou a integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) e com dois níveis de suprimento de nitrogênio (N) (90 e 180 kg N/ha). O sombreamento do sistema de ILPF reduziu em 32% o GMD e em 46,5% o ganho por hectare de novilhas em comparação com pastagens sem árvores (ILP). O aumento no nível de N (90 para 180 kg N/ha) não compensou essas perdas. Yates *et al.* (2007) e Lopes *et al.* (2016) sugeriram que as árvores nos sistemas de

ILPF protegem os animais do vento e de temperaturas extremas, que, por sua vez, podem mitigar os efeitos da menor produção de forragem. No entanto, o efeito competitivo das árvores no crescimento das pastagens, no experimento de Pontes *et al.* (2018), foi tão acentuado, que qualquer efeito positivo das árvores nas condições ambientais não se refletiu no desempenho dos animais. Além disso, as gramíneas perenes podem ter uma melhor capacidade de adaptação aos ambientes sombreados em comparação com as gramíneas anuais. De acordo com Pontes *et al.* (2017), as gramíneas anuais alocam carbono para o alongamento do caule, em detrimento do desenvolvimento e do perfilhamento das folhas, o que reduz a produção das pastagens em sombreamento.

A intensidade de pastejo é considerada uma variável fundamental no controle de animais em pastejo e no êxito da produção da cultura em sucessão. Kunrath *et al.* (2011) avaliaram os efeitos de diferentes alturas de manejo em pastos consorciados de aveia-preta e azevém anual em sistema de ILP sob plantio direto na produção do pasto e no desempenho animal. Esses autores observaram que, conforme aumentavam as alturas de manejo do pasto, ocorria o aumento do GMD e se reduzia o ganho por área (GHA), ambos de forma linear. Porém, em outros trabalhos, o ganho diário individual seguiu um modelo quadrático, tendo a altura de manejo proporcionado os maiores ganhos individuais, que variaram entre 25 e 30 cm, em pastos mistos de aveia e azevém (Cassol, 2003; Aguinaga *et al.*, 2006; Lopes *et al.*, 2008; Wesp, 2010).

A massa de forragem tem grande influência no consumo voluntário e no desempenho dos animais (Brâncio *et al.*, 2003). A massa de forragem é determinada, em grande parte, pela altura do pasto, que, por sua vez, é determinante na facilidade do acesso à forragem e à profundidade do bocado dos animais (Carvalho *et al.*, 2008). Dessa forma, pastagens muito baixas podem limitar o consumo pela dificuldade de apreensão e também pelo aumento do número de estações alimentares visitadas. Nessa situação, a fim de visitar um maior número de estações alimentares e suprir suas necessidades, o animal aumenta o gasto energético, acarretando prejuízos ao seu desempenho (Carvalho *et al.*, 2007; Lopes *et al.*, 2008).

O GHA é consequência do GMD e da carga animal (Carvalho *et al.*, 2005), ou seja, o GHA expressa a produtividade animal por unidade de área na pastagem. Porém, Kunrath *et al.* (2011) não encontraram correlação entre GHA e GMD ($p=0,0543$), mas encontraram correlação entre GHA e carga animal ($r=0,86$; $p<0,0001$). Em consequência disso, o GHA também apresentou correlação com a altura de manejo do pasto ($r=-0,75$; $p<0,0001$) e com a massa de forragem ($r=-0,69$; $p=0,0002$). O GHA seguiu um modelo

linear, demonstrando que, para cada aumento de uma unidade na altura do pasto, diminuiu-se, aproximadamente, 8 kg de ganho de PV por hectare. Maiores intensidades de pastejo apresentam maiores GHA, porém não permitem maior quantidade e qualidade de acúmulo de massa de forragem residual. Tal situação não é recomendável, pois, em um sistema de ILP sob plantio direto, deve-se manejar o pasto, com o objetivo de sobrar um resíduo vegetal adequado sobre o solo, a fim de se manterem os benefícios do sistema.

A utilização de altas cargas animais afeta a densidade do solo, reduz sua porosidade, limita a aeração e o transporte de água, altera a ciclagem de nutrientes e a exploração do perfil do solo pelas raízes (Franzluebbers, 2007; Qin *et al.*, 2004). Por outro lado, o uso de taxas de lotação moderadas potencializa a eficiência de utilização da pastagem e os ganhos individuais e por área. Além disso, permite o acúmulo de massa de forragem residual adequada para o sistema, bem como estimula o crescimento das plantas e favorece o incremento da matéria orgânica no sistema (Carvalho *et al.*, 2010B). Dessa maneira, a carga animal pode ser considerada uma variável de manejo muito importante, capaz de promover o sucesso ou o fracasso de um sistema de ILP sob plantio direto. Em função dela, são determinadas a produção e as características do pasto (Aguinaga *et al.*, 2008), a produção animal e a qualidade do produto (Aguinaga *et al.*, 2006; Lopes *et al.*, 2008; Wesp, 2010), além das características do solo (Cassol, 2003; Flores *et al.*, 2007; Souza *et al.*, 2009) e da lavoura em sucessão (Cassol, 2003; Lopes *et al.*, 2009).

Bartmeyer *et al.* (2011), ao avaliarem a produtividade de grãos do cultivar de trigo duplo-propósito BRS 176 e o ganho de peso de bovinos, em função do período de pastejo (15, 30 e 45 dias) em sistema ILP, encontraram que o ganho de peso aumentou linearmente até 45 dias de pastejo (181, 351 e 458 kg/ha). De acordo com os autores, é possível que períodos maiores de pastejo no trigo aumentem o ganho de peso por hectare. Entretanto, o ganho de peso diário diminuiria, pois se espera uma redução no valor nutritivo da pastagem no florescimento, em decorrência do alongamento do colmo e da formação de inflorescência. Dessa forma, os autores concluíram que o cultivar de trigo duplo-propósito BRS 176 apresenta elevado potencial de produção de grãos sob pastejo, grande capacidade de suportar a desfolha e de produzir forragem.

Lopes *et al.* (2008) avaliaram o desempenho de novilhos superprecoces (aproximadamente 10 meses, oriundos de cruzamento entre Angus, Hereford e Nelore, sem grau de sangue definido) submetidos a diferentes alturas de manejo da pastagem de aveia e azevém (10, 20, 30 e 40 cm) implantada em sucessão à soja. Esses animais foram suplementados, no terço final (últimos 44 dias) do ciclo de pastejo (125 dias), com ração

comercial energética com 12% de proteína bruta (PB) e 72% de nutrientes digestíveis totais (NDT), na proporção de 0,8% do PV, a fim de proporcionar maior grau de acabamento aos novilhos em todos os tratamentos. Com o aumento das alturas de pastejo, houve incremento no desempenho individual até a altura de 25 cm, com GMD estimado de 1,225 kg/animal/dia, o que representa uma velocidade de ganho de peso interessante para o propósito da terminação dos novilhos em condições adequadas ao final do ciclo da pastagem de inverno. O menor desempenho foi na altura de 10 cm, em razão da oferta de forragem limitante (8,8 kg MS para cada 100 kg PV), que pode comprometer a profundidade e a massa do bocado, componentes essenciais na composição do consumo diário de MS. Já o GHA apresentou resposta linear negativa; ou seja, à medida que aumentou a altura de manejo do pasto, o GHA decresceu. O maior GHA observado no tratamento de 10 cm foi devido à aplicação de maior carga animal. De acordo com as equações de regressão propostas pelos autores, cada cm a mais na altura do pasto corresponde a um decréscimo de 45,91 kg na carga animal e de 17,69 kg no GHA. Embora o tratamento de 10 cm de altura tenha obtido um GHA superior aos demais, foi no tratamento de 30 cm que os animais atingiram os maiores valores de peso vivo ao abate (327,5 kg). Isso indica que não é necessário destinar áreas de verão para terminação desses animais e, conseqüentemente, reduzir a área destinada à agricultura, já que a terminação é viabilizada em um único ciclo de pastagem de inverno em sistemas de ILP.

Silva *et al.* (2011B) analisaram o desempenho de bovinos da raça Charolês, com idade média de 18 meses, em pastagens de azevém anual submetida ao pastejo contínuo com carga animal variável. O GMD no período foi de 1,529 kg/dia. Os autores destacaram que esses resultados são importantes porque no Rio Grande do Sul geralmente os animais são criados em pastagens nativas e perdem peso no inverno. Essa perda de peso ocorre porque há paralisação do crescimento e perda de qualidade da forragem.

Wesp (2010) avaliaram o desempenho de novilhos superprecoces mantidos dos 10 aos 14 meses de idade em pasto de aveia-preta e azevém anual manejado sob diferentes alturas (10, 20, 30 e 40 cm) em sucessão à soja. Eles observaram que, com o aumento da altura de manejo do pasto ($p=0,0017$), ocorreu um incremento no desempenho individual até a altura de 33 cm, com GMD estimado de 0,972 kg/animal/dia. Já o GHA diminuiu linearmente com o aumento da altura de manejo ($p<0,0001$), com valores entre 495 e 156 kg/ha para as alturas de 10 e 40 cm, respectivamente. Efeito similar ocorreu com a carga animal, em que, em cada cm de incremento na altura do pasto, ocorreu um decréscimo de

34 kg na carga animal. Na Tabela 2, encontram-se as equações de melhor ajuste obtidas para o desempenho animal deste experimento.

Tabela 2. Modelos de regressão para as variáveis de desempenho animal de novilhos superprecoce, mantidos dos 10 aos 14 meses em pasto de aveia-preta e azevém anual manejado sob diferentes alturas

Y	Equação de regressão	AIC	R ²	Pr>F
GMD	0,43 + 0,48 OLF - 0,09 OLF ²	-14,2	0,9199	0,0005
GHA	675,17 - 12,73 ALT	123,1	0,8388	<0,0001
CA	1769,40 - 33,84 ALT	137,3	0,899	<0,0001

GMD: Ganho médio diário (kg/animal/dia); GHA: ganho por área (kg/ha); CA: carga animal (kg de peso vivo/ha/dia); ALT: altura do pasto (cm); OLF: oferta de lâmina foliar estimada (kg de MS/kg de peso vivo/dia); AIC: critério de informação de Akaike.

Fonte: Adaptado de Wesp (2010).

O modelo obtido para o GMD mostra que 92% da sua variação é explicada pela OLF existente no pasto, evidenciando a importância desse parâmetro no manejo do pasto. A variação no GHA foi esclarecida em 84% pela ALT, e a variação na carga animal em 90% também pela ALT, confirmando que o manejo da altura do pasto exerce grande importância quando o foco é o ganho por área. Dessa forma, os autores concluem que o desempenho individual de novilhos de corte em pastagem de aveia-preta e azevém anual é otimizado com o aumento da altura de manejo até valores próximos a 30 cm.

Já Kunrath *et al.* (2020) avaliaram o desempenho animal, por 16 anos, em pastos mistos de aveia-preta e azevém italiano gerenciados em diferentes intensidades de pastejo por novilhos, em sistema integrado de soja e carne bovina, no sul do Brasil. O GMD dos novilhos foi influenciado pela altura de manejo das pastagens ($p < 0,0001$ $r = 0,42$) e pelas taxas de lotação utilizadas para manter essas alturas ($p < 0,0001$ $r = -0,55$). As alturas de manejo do pasto de 20, 30 e 40 cm foram semelhantes, com média de 1,08 kg PV/animal/dia. Já nas alturas inferiores a 19cm, a cada cm diminuído na altura do pasto havia uma perda de 0,03 kg de PV/animal/dia. Isso ocorreu devido à menor oferta de forragem, que força o animal a abandonar a estação de alimentação e a selecionar uma nova. Portanto, o animal é forçado a andar mais rápido, aumentando o gasto de energia e prejudicando o desempenho. A carga animal dos pastos diminuiu 35,8 kg de PV/ha para cada cm de aumento na altura do pasto, de acordo com as equações propostas pelos autores. Como é de se esperar, o GHA diminuiu 12,1 kg de PV/ha a cada cm de aumento na altura do pasto. Os autores concluíram que pastagens menores que 19 cm são prejudiciais ao desempenho individual dos animais. Por outro lado, o manejo de pastagens em alturas mais altas beneficia a proteção do solo e a produção de pastagens, mas

compromete a produção animal por área e a capacidade do sistema de produzir alimento, bem como sua lucratividade.

O sistema de criação de bezerras e novilhas leiteiras é um investimento de médio e longo prazo. Na formação do custo de produção do leite, o custo da criação dos animais de reposição é considerado uma das maiores fontes de despesas (15 a 20%), abaixo somente das despesas com a alimentação do rebanho em produção (Heinrichs, 1993). Portanto, minimizar gastos na criação de novilhas sem prejudicar o potencial produtivo desses animais deve ser priorizado nos sistemas de criação. Assim, sistemas de ILP possibilitam a intensificação da viabilidade econômica de áreas agrícolas subutilizadas e proporcionam vantagens biológicas aos sistemas de produção (Balbinot Junior *et al.*, 2009), sendo uma boa oportunidade de negócio, com a possibilidade de recria de novilhas durante o inverno.

Dessa forma, Silva *et al.* (2011A) avaliaram o desempenho de novilhas leiteiras, da raça Holandês Preto e Branco (HPB) e 1/2 sangue HPB com Jersey, em pastagens anuais de inverno sob sistema de ILP. Foram comparados o desempenho em pastagens consorciadas (azevém + aveia-preta + trevo-branco) e em pastagem pura de azevém anual. Animais mantidos em pastagem pura de azevém apresentaram GMD superior ($0,93 \pm 0,032$ kg/animal) aos dos animais mantidos em pastagem consorciada ($0,79 \pm 0,032$ kg/animal). Segundo os autores, a menor proporção de parede celular (FDN e FDA) e a maior proporção de NDT em pastagem pura podem ter contribuído para maior consumo animal e maior GMD.

QUALIDADE DA CARNE DE BOVINOS DE CORTE

A ILP torna-se cada vez mais uma das alternativas mais promissoras para sistemas de produção menos intensivos no uso de insumos, que atenda às atuais exigências de sustentabilidade econômica e ecológica (Lopes *et al.*, 2008). Além disso, é necessário proporcionar uma carcaça que venha a satisfazer às exigências de comercialização, com peso e acabamento adequados à categoria (de 160 a 250 kg de PV e de 3 a 6 mm de espessura de gordura subcutânea, respectivamente).

Turini *et al.* (2015) estudaram o desempenho de bovinos inteiros ou castrados 1/2 Angus + 1/2 Nelore em um sistema intensivo de integração lavoura-pecuária. Esses animais, dos nove aos 21 meses, permaneceram em pastagem de aveia e azevém, durante o inverno, e em pastagens de grama-estrela-roxa e capim-mombaça, durante o verão, em sucessão ao cultivo de soja. Após o abate, os animais inteiros tiveram peso de carcaça

quente (PCq) médio de 250,2 kg, rendimento de carcaça quente (RCq) médio de 51,0% e espessura de gordura subcutânea média de 2,70 mm. Já os animais castrados tiveram PCq médio de 232,6 kg, RCq médio de 52,7% e espessura de gordura subcutânea média de 3,45 mm.

Da Luz *et al.* (2019) compararam o efeito do sistema de ILP e o de ILPF na qualidade da carcaça e da carne de bovinos Nelore terminados em pastagem de *Urochloa brizantha* cv. Marandu. A hipótese dos autores era a de que o impacto do estresse térmico alterava a qualidade da carne dos animais submetidos à exposição solar por longos períodos. Porém, eles concluíram que a introdução do componente arbóreo no pasto, em diferentes densidades, não interfere nas características da carcaça, na composição, nas características físicas e na qualidade microbiológica da carne de bovinos Nelore, em comparação ao sistema de ILP, o que mostra a adaptação dessa raça às condições climáticas da região. Portanto, do ponto de vista da qualidade da carcaça e da carne, sistemas integrados de produção agrícola com e sem a presença de árvores podem ser recomendados para gado Nelore.

Lopes *et al.* (2008) avaliaram a qualidade da carcaça de novilhos superprecoces submetidos a diferentes alturas de manejo da pastagem de aveia e azevém (10, 20, 30 e 40 cm) em sistema de ILP e suplementados no terço final do ciclo de pastejo. Os autores observaram que o peso ao abate de carcaça fria e dos cortes primários serrote e dianteiro atinge valores máximos com altura do pasto próxima a 30 cm. No entanto, a espessura de gordura subcutânea apresentou média de 3,8 mm entre os tratamentos e permaneceu dentro dos padrões atualmente estabelecidos pelos frigoríficos. A espessura de gordura subcutânea dentro da faixa recomendada reduz as perdas por desidratação durante o resfriamento, e promove maior rendimento de carcaça, maior produção e maior qualidade da carne.

Wesp (2010), ao avaliar as características de carcaça de novilhos superprecoces mantidos dos 10 aos 14 meses de idade em pasto de aveia-preta e azevém anual manejado sob diferentes alturas (10, 20, 30 e 40 cm) em sucessão à soja, encontrou que a principal variável vegetal que explica a variação das características de carcaça é a altura do pasto. Os modelos obtidos para peso de carcaça quente e para peso de carcaça fria evidenciaram que 78 e 79% das variações foram explicadas pela altura do pasto. Dessa forma, os autores concluem que os melhores resultados em características da carcaça são obtidos quando a pastagem é manejada com altura de 30 cm, restando um adequado nível de palhada residual para o cultivo de verão subsequente.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A integração lavoura-pecuária consiste na implantação de diferentes sistemas produtivos. O uso da terra é alternado, no tempo e no espaço, entre lavoura e pecuária. O interesse nesse modelo de exploração apoia-se nos benefícios que podem ser auferidos pelo sinergismo entre pastagens e culturas anuais. Porém, a principal barreira para a adoção de um sistema de ILP é o paradigma dos impactos negativos do animal nos sistemas de cultivo.

Os resultados apresentados neste capítulo ratificam a ideia de que a criação e a terminação de bovinos em sistemas integrados com a produção de grãos é uma alternativa viável em relação ao desempenho. Esse sistema ainda otimiza o uso da terra, desde que a utilização das pastagens ocorra de forma adequada ao sistema como um todo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguinaga, A. A. Q.; Carvalho, P. C. D. F.; Anghinoni, I.; Pilau, A.; Aguinaga, A. J. Q.; Gianluppi, G. D. F. 2008. Componentes morfológicos e produção de forragem de pastagem de aveia e azevém manejada em diferentes alturas. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.37, n.9, p.1523-1530, doi: 10.1590/S1516-35982008000900002
- Aguinaga, A. A. Q.; Carvalho, P. C. D. F.; Anghinoni, I.; Santos, D. T. D.; Freitas, F. K. D.; Lopes, M. T. 2006. Produção de novilhos superprecoce em pastagem de aveia e azevém submetida a diferentes alturas de manejo. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.35, n.4, p.1765-1773, doi: 10.1590/S1516-35982006000600026
- Albuquerque, J. A.; Sangoi, L.; Ender, M. 2001. Efeito da integração lavoura-pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, Viçosa, v.25, n.3, p.717-723, doi: 10.1590/S0100-06832001000300021
- Anghinoni, I.; Carvalho, P. C. D. F.; Costa, S. E. V. G. A. 2013. Abordagem sistêmica do solo em sistemas integrados de produção agrícola e pecuária no subtropico brasileiro. *Tópicos em Ciência do Solo*, v. 8, p. 325-380.
- Baggio, C.; Carvalho, P. C. D. F.; Silva, J. L. S. D.; Anghinoni, I.; Lopes, M. L. T.; Thurow, J. M. 2009. Padrões de deslocamento e captura de forragem por novilhos em pastagem de azevém anual e aveia preta manejada sob diferentes alturas em sistema de integração lavoura-pecuária. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.38, n.2, p.215-222, doi: 10.1590/S1516-35982009000200001
- Baggio, C.; Carvalho, P. C. D. F.; Silva, J. L. S. D.; Rocha, L. M. D.; Bremm, C.; Santos, D. T. D.; Monteiro, A. L. G. 2008. Padrões de uso do tempo por novilhos em pastagem consorciada de azevém anual (*Lolium multiflorum* Lam.) e aveia preta (*Avena strigosa* Schreb). *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.37, n.11, p.1912-1918, doi: 10.1590/S1516-35982008001100002
- Balbino, L. C.; Barcellos, A. De O.; Stone, L. F. Marco referencial: integração lavoura-pecuária-floresta (iLPF). Brasília: Embrapa, 2011. 130p.
- Balbinot Junior, A. A.; Moraes, A. D.; Veiga, M. D.; Pelissari, A.; Dieckow, J. 2009. Integração lavoura-pecuária: intensificação de uso de áreas agrícolas. *Ciência Rural*, v.39, p.1925-1933, doi: 10.1590/S0103-84782009005000107
- Bartmeyer, T. N.; Dittrich, J. R.; Silva, H. A. D.; Moraes, A. D.; Piazzetta, R. G.; Gazda, T. L.; Carvalho, P. C. D. F. 2011. Trigo de duplo propósito submetido ao pastejo de bovinos nos Campos Gerais do Paraná. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 46, n. 10, p. 1247-1253, doi: 10.1590/S0100-204X2011001000019
- Brâncio, P. A.; Nascimento Junior, D. D.; Euclides, V. P. B.; Fonseca, D. M. D.; Almeida, R. G. D.; Macedo, M. C. M.; Barbosa, R. A. 2003. Avaliação de Três Cultivares de *Panicum maximum* Jacq. sob Pastejo: Composição da Dieta, Consumo de Matéria Seca e Ganho de Peso Animal. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.32, n.5, p.1037-1044, doi: 10.1590/S1516-35982003000500002
- Carvalho, J. L. N.; Cerri, C. E. P.; Feigl, B. J.; Píccolo, M. D. C.; Godinho, V. P.; Cerri, C. C. 2009. Carbon sequestration in agricultural soils in the Cerrado region of the Brazilian Amazon. *Soil Tillage Research*, v.103, p.342-349, doi: 10.1016/j.still.2008.10.022
- Carvalho, P. C. D. F.; Anghinoni, I.; de Moraes, A.; de Souza, E. D.; Sulc, R. M.; Lang, C. R.; Flores, J. P. C.; Lopes, M. L. T.; Silva, J. L. S.; Conte, O.; Wesp, C. L.; Bayer, C. 2010A. Managing grazing animals to achieve nutrient cycling and soilimprovement in no-till integrated systems. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v.88, n.2, p.259-273, doi: doi.org/10.1007/s10705-010-9360-x
- Carvalho, P. C. D. F.; Anghinoni, I.; Kunrath, T. R.; Martins, A. P.; Costa, S. E. V. G. A.; Silva, F. D.; Assmann, J. M.; Lopes, M. L. T.; Pfeifer, F. M.; Conte, O.; Souza, E. D. Integração soja-bovinos de corte no sul do Brasil. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2011. 60p. (Boletim Técnico).
- Carvalho, P. C. D. F.; Gonda, H. L.; Wade, M. H.; Mezzalira, J. C.; Gonçalves, E. N.; Santos, D. T.; Poli, C. H. E. C. Características estruturais do pasto e o consumo de forragem: o quê pastar, quanto pastar e como se mover para encontrar o pasto. In: Pereira, O.G. et al. (Eds.). 4th Symposium on Strategic Management of Pasture and 2nd International Symposium on Animal Production under Grazing, Viçosa, 2008. Proceedings... Viçosa, 2008.

- Carvalho, P. C. D. F.; Moraes, A. Comportamento ingestivo de ruminantes: bases para o manejo sustentável do pasto. In: MANEJO SUSTENTÁVEL EM PASTAGEM, 2005, Maringá, Anais... Maringá, 2005. p.1-20.
- Carvalho, P. C. D. F.; Rocha, L. M. D.; Baggio, C.; Macari, S.; Kunrath, T. R.; Moraes, A. D. 2010B. Característica produtiva e estrutural de pastos mistos de aveia e azevém manejados em quatro alturas sob lotação contínua. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.39, n.9, p.1857-1865, doi: 10.1590/S1516-35982010000900001
- Carvalho, P. C. D. F.; Silva, J. L. S.; Moraes, A.; Fontanelli, R. S.; Macari, S.; Bremm, C.; Trindade, J. Manejo de animais em pastejo em sistemas de integração lavoura-pecuária. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL EM INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA, 2007, Curitiba, PR. Anais... Curitiba: UFPR, 2007.
- Cassol, L. C. Relação solo-planta-animal num sistema de integração lavoura-pecuária em semeadura direta com calcário na superfície. 2003. 157f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.
- Castro Filho, C.; Henklain, J. C.; Vieira, M. J.; Casão Jr., R. 1991. Tillage methods and soil and water conservation in southern Brazil. *Soil and Tillage Research*, v.20, p.271-283, doi: 10.1016/0167-1987(91)90043-W
- Chávez, L. F.; Escobar, L. F.; Anghinoni, I.; Carvalho, P. C. D. F.; Meurer, E. J. 2011. Diversidade metabólica e atividade microbiana no solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob intensidades de pastejo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 46, n. 10, p. 1254-1261, doi: 10.1590/S0100-204X2011001000020
- Costa, P. M.; Barbosa, F. A.; Alvarenga, R. C.; Guimarães, S. T.; Lampeão, Â. A.; Winkelströter, L. K.; Maciel, I. C. D. F. 2017. Performance of crossbred steers post-weaned in an integrated crop-livestock system and finished in a feedlot. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 52, n. 5, p. 355-365, doi: 10.1590/s0100-204x2017000500009.
- Da Luz, P. A. C.; Andrighetto, C.; Lupatini, G. C.; Aranha, H. S.; Trivelin, G. A.; Mateus, G. P.; Santos, C. T.; Francisco, C. de L.; Castilhos, A. M.; Jorge, A. M. 2019. Effect of integrated crop-livestock systems in carcass and meat quality of Nellore cattle. *Livestock Science.*, v. 220, p. 83-92, doi: doi.org/10.1016/j.livsci.2018.11.018
- FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. The State of Food and Agriculture: Food Systems for Better Nutrition. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2013. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/018/i3300e/i3300e00.htm>>. Acessado em: 29 mai. 2020.
- Flores, J. P. C.; Anghinoni, I.; Cassol, L. C.; Carvalho, P. C. D. F.; Leite, J. G. D. B.; Fraga, T. I. 2007. Atributos físicos e rendimento de soja em sistema plantio direto em integração lavoura-pecuária com diferentes pressões de pastejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 31, n.4, p.771-780, doi: 10.1590/S0100-06832007000400017
- Franzluebbers, A. J. 2007. Integrated crop–livestock systems in the southeastern USA. *Agronomy Journal*, Madison, v.99, n.2, p.361-372, doi: 10.2134/agronj2006.0076
- Franzluebbers, A. J.; Stuedemann, J. A. 2014. Crop and cattle production responses to tillage and cover crop management in an integrated crop-livestock system in the southeastern USA. *European Journal of Agronomy*, v.57, p.62-70, doi: 10.1016/j.eja.2013.05.009
- Fraser, M. D.; Fleming, H. R.; Moorby, J. M. 2014. Traditional vs Modern: role of breed type in determining enteric methane emissions from cattle grazing as part of contrasting grasslandbased systems. *PLoS One*, v.9, n.9, doi: 10.1371 / journal.pone.0107861
- George, S.; Wright, D. L.; Marois, J. J. 2013. Impact of grazing on soil properties and cotton yield in an integrated crop-livestock system. *Soil and Tillage Research*, v.132, p.47-55, doi: 10.1016/j.still.2013.05.004
- Heinrichs, A. J. 1993. Raising dairy replacements to meet the needs of the 21st century. *Journal of Dairy Science*, v.76, p.3179-3187, doi: 10.3168/jds.S0022-0302(93)77656-0
- Kunrath, T. R.; de Albuquerque Nunes, P. A.; de Souza Filho, W.; Cadenazzi, M.; Bremm, C.; Martins, A. P.; Carvalho, P. C. D. F. 2020. Sward height determines pasture production and animal performance in a long-term soybean-beef cattle integrated system. *Agricultural Systems*, v.177, p.102716, doi: 10.1016/j.agry.2019.102716

- Kunrath, T. R. Impactos da altura de manejo do pasto em sistemas de integração lavoura-pecuária. 2011. 131f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.
- Lal, R. 1991. Tillage and agricultural sustainability. *Soil and Tillage Research*, v. 20, p. 133-146, doi: 10.1016/0167-1987(91)90036-W
- Latawiec, A. E.; Strassburg, B. B.; Valentim, J. F.; Ramos, F.; Alves-Pinto, H. N. 2014. Intensification of cattle ranching production systems: socioeconomic and environmental synergies and risks in Brazil. *Animal*, v.8, p.1255-1263, doi: 10.1017/S1751731114001566
- Lopes, L. B.; Eckstein, C.; Pina, D. S.; Carnevalli, R. A. 2016. The influence of trees on the thermal environment and behaviour of grazing heifers in Brazilian Midwest. *Tropical Animal Health and Production*, v. 48, n. 4, p. 755-761, doi: 10.1007/s11250-016-1021-x
- Lopes, M. L. T.; Carvalho, P. C. D. F.; Anghinoni, I.; Santos, D. T. D.; Kuss, F.; Freitas, F. K. D.; Flores, J. P. C. 2008. Sistema de integração lavoura-pecuária: desempenho e qualidade da carcaça de novilhos superprecoces terminados em pastagem de aveia e azevém manejada sob diferentes alturas. *Ciência Rural*, v. 38, n. 1, p. 178-184, doi: 10.1590/S0103-84782008000100029
- Lopes, M. L. T.; Carvalho, P. C. D. F.; Anghinoni, I.; Santos, D. T. D.; Aguinaga, A. A. Q.; Flores, J. P. C.; Moraes, A. D. 2009. Sistema de integração lavoura-pecuária: efeito do manejo da altura em pastagem de aveia preta e azevém anual sobre o rendimento da cultura da soja. *Ciência Rural*, v.39, n.5, p.1499-1506, doi: 10.1590/S0103-84782009005000096
- Lustosa, S. B. C. Efeito do pastejo nas propriedades químicas do solo e no rendimento de soja e milho em rotação com pastagem consorciada de inverno no sistema plantio direto. 1998. 84f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- Moraes, A. D.; Pelissari, A.; Alves, S. J.; Carvalho, P. C. D. F.; CASSOL, L. C. Integração lavoura-pecuária no Sul do Brasil. In: ENCONTRO DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA NO SUL DO BRASIL, 1, 2002, Pato Branco. Anais... Pato Branco: CEFET- PR, 2002. p. 3-42.
- Moraes, A.; Carvalho, P. C. D. F.; Anghinoni, I.; Lustosa, S. B. C.; de Andrade, S. E. V. G.; Kunrath, T. R. 2014. Integrated crop–livestock systems in the Brazilian subtropics. *European Journal of Agronomy*, v. 57, p. 4-9, doi: 10.1016/j.eja.2013.10.004
- Pérès, G.; Cluzeau, D.; Menasseri, S.; Soussana, J.F.; Bessler, H.; Engels, C.; Habekost, M.; Gleixner, G.; Weigelt, A.; Weisser, W. W.; Scheu, S. 2013. Mechanisms linking plant community properties to soil aggregate stability in an experimental grassland plant diversity gradient. *Plant and soil*, v.373, n.1-2, p.285-299, doi: 10.1007/s11104-013-1791-0
- Plano setorial de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas para a consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na agricultura: Plano ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono). Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento: Ministério do Desenvolvimento Agrário, 2012. 173p. Disponível em: <<http://antigo.agricultura.gov.br/assuntos/sustentabilidade/plano-abc/arquivo-Publicacoes-plano-abc/download.pdf>>. Acessado em: 29 de mai. 2020.
- Pontes, L. D. S.; Barro, R. S.; Savian, J. V.; Berndt, A.; Moletta, J. L.; Porfírio-da-Silva, V.; Bayer, C.; Carvalho, P. C. D. F. 2018. Performance and methane emissions by beef heifer grazing in temperate pastures and in integrated crop-livestock systems: The effect of shade and nitrogen fertilization. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 253, p. 90-97, doi: 10.1016/j.agee.2017.11.009
- Pontes, L. D. S.; Carpinelli, S.; Stafin, G.; Porfírio-da-Silva, V.; Santos, B. R. D. 2017. Relationship between sward height and herbage mass for integrated crop-livestock systems with trees. *Grassland science*, v. 63, n. 1, p. 29-35, doi: 10.1111/grs.12147
- Qin, R.; Peter S.; Richner, W. 2004. Impact of tillage on root systems of winter wheat. *Agronomy Journal*, v.96, p.1523-1530, doi: 10.2134/agronj2004.1523
- Salton, J. C.; Fabrício, A. C.; Machado, A. Z. M.; Oliveira, H. 2002. Pastoreio de aveia e compactação do solo. *Revista Plantio Direto*, v.69, p.32-34
- Salton, J. C. Matéria orgânica e agregação do solo na rotação lavoura-pastagem em ambiente tropical. 2005, 158f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Santos, D. T. D.; Rocha, M. G. D.; Genro, T. C. M.; Quadros, F. L. F. D.; Freitas, F. K. D.; Roman, J.; Neves, F. P. 2004. Suplementos energéticos para recria de novilhas de corte em pastagens anuais: Análise

- econômica. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.33, n.6, p.2359-2368, doi: 10.1590/S1516-35982004000900023
- Silva, H. A. D.; Moraes, A. D.; Carvalho, P. C. D. F.; Pontes, L. D. S. 2011A. Desempenho de novilhas leiteiras em pastagens anuais de inverno sob sistema de integração lavoura-pecuária. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 46, n. 10, p. 1372-1378, doi: 10.1590/S0100-204X2011001000034
- Silva, J. L. S.; Theisen, G.; Dame, M.; Schafhauser Junior, J. 2011B. Manejo de azevém anual e rendimento de bovinos de corte em integração lavoura-pecuária nas terras baixas do bioma Pampa. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 8p. (Embrapa Clima Temperado. Circular técnica, 119)
- Silva, V. R.; Reinert, D. J.; Reichert, J. M. 2000. Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetados pelo pastejo e manejo do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.24, n.1, p.191-199, doi: 10.1590/S0100-06832000000100021.
- Souza, E. D. D.; Costa, S. E. V. G. D.; Anghinoni, I.; Carvalho, P. C. D. F.; Oliveira, E. V. F. D.; Martins, A. P.; Cao, E.; Andrighetti, M. 2010A. Soil aggregation in a crop-livestock integration system under no-tillage. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.34, n.4, p.1365-1374, doi: 10.1590/S0100-06832010000400033
- Souza, E. D. D.; Costa, S. E. V. G. D.; Anghinoni, I.; Carvalho, P. C. D. F.; Andrighetti, M.; Cao, E. 2009. Estoques de carbono orgânico e nitrogênio no solo em sistema de integração agricultura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.33, p.1829-1836, doi: 10.1590/S0100-06832009000600031
- Souza, E. D. D.; Costa, S. E. V. G. D.; Anghinoni, I.; Lima, C. V. S. D.; Carvalho, P. C. D. F.; Martins, A. P. 2010B. Biomassa microbiana do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.34, n.1, p.79-88, doi: 10.1590/S0100-06832010000100008
- Tracy, B. F e Zhang, Y. 2008. Soil Compaction, Corn Yield Response, and Soil Nutrient Pool Dynamics within an Integrated Crop-Livestock System in Illinois. *Crop Science*, Madison, v.48, n.3, p.1211-1218, doi: 10.2135/cropsci2007.07.0390
- Turini, T.; de Azambuja Ribeiro, E. L.; Alves, S. J.; Mizubuti, I. Y.; da Silva, L. D. D. F. 2015. Desempenho de bovinos inteiros e castrados em sistema intensivo de integração lavoura-pecuária. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 36, n. 1, p. 2339-2351, doi: 10.5433/1679-0359.2015v36n3Supl1p2339
- Vilela, L.; Manjabosco, E.; Marchao, R.; Guimaraes Junior, R. 2017. "Boi Safrinha" na Integração Lavoura-Pecuária no Oeste Baiano. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 6 p. (Embrapa Cerrados. Circular Técnica, 35).
- Vilela, L.; Martha Junior, G. B.; Macedo, M. C. M.; Marchão, R. L.; Guimarães Júnior, R.; Pulrolnik, K.; Maciel, G. A. 2011. Sistemas de integração lavoura-pecuária na região do Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.46, p.1127-1138, doi: 10.1590/S0100-204X2011001000003.
- Wesp, C. L. Sistema de integração lavoura-pecuária: desempenho de novilhos superprecoces e variabilidade espacial do pasto. 2010. 211f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Wirsenius, S.; Azar, C.; Berndes, G. 2010. How much land is needed for global food production under scenarios of dietary changes and livestock productivity increases in 2030?. *Agricultural Systems*, v. 103, p. 621- 638, doi: 10.1016/j.agsy.2010.07.005
- Yates, C.; Dorward, P.; Hemery, G.; Cook, P. 2007. The economic viability and potential of a novel poultry agroforestry system. *Agroforestry Systems*, v. 69, n. 1, p. 13-28, doi: 10.1007/s10

CAPÍTULO 10

CAPACIDADE DE USO DOS SOLOS EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO INTEGRADOS

Frederico Patrus Ananias de Assis Pires; Matheus Anchieta Ramirez; Lúcio Carlos Gonçalves; Alan Figueiredo de Oliveira; Rafael Araújo de Menezes; Guilherme Lobato Menezes; Pamella Grossi de Sousa; Gustavo Henrique Silva Camargos

RESUMO

Nas últimas décadas, observou-se um expressivo crescimento de produtividade da agropecuária nacional. Entretanto, sabe-se que a maior parte dos solos brasileiros ainda apresentam baixa capacidade de uso. Os sistemas de produção integrados representam uma alternativa sustentável para elevar essa capacidade. A fertilidade do solo é um processo altamente dinâmico e é determinada por um conjunto de fatores químicos físicos e biológicos. Considerando-se esses fatores, a maior parte dos solos brasileiros apresentam baixa fertilidade natural. Com isso, a implementação de práticas de manejo adequadas e o uso de tecnologias relacionadas ao aumento da fertilidade dos solos são imprescindíveis. Os sistemas integrados baseiam-se em diversos fatores relacionados ao aumento dessa fertilidade. Entre esses, citam-se o plantio direto, a rotação de culturas e o sinergismo entre os diferentes componentes do sistema. Ressalta-se que a atuação dessas práticas ou a interação entre cada componente no sistema são variáveis. Compreender as causas dessas variações é fundamental para elevar a capacidade de uso dos solos manejados em sistemas integrados.

INTRODUÇÃO

Estima-se que, entre 1977 e 2017, a produção total das principais culturas agrícolas do país cresceu mais de cinco vezes, enquanto a área plantada aumentou apenas 60% (Conab, 2020). Com isso, constata-se que a maior parte do crescimento agropecuário nacional ocorreu devido a um aumento expressivo da capacidade de uso dos solos. Os dados publicados por Gasques (2017) corroboram essa constatação e evidenciaram que a produtividade média da terra no país aumentou cerca de 4,4 vezes nos últimos 40 anos.

Apesar do aumento da capacidade de uso do solo, sabe-se que a maior parte das pastagens do país encontram-se em algum nível de degradação (Dias filho *et al.*, 2014). Dessa forma, o Brasil ainda possui um elevado potencial de crescimento produtivo no setor agropecuário, sem a necessidade de abertura de novas áreas. Esse potencial assume

uma relevância ainda maior no contexto atual, considerando-se as pressões cada vez maiores para a preservação ambiental e para a redução do desmatamento. Além disso, as preocupações relacionadas com a qualidade dos solos agrícolas também têm aumentado nos últimos anos. A justificativa dessas preocupações relaciona-se à crescente demanda por alimentos e à redução gradativa da fertilidade dos solos, que, muitas vezes, são usados de forma inadequada.

Os sistemas de produção integrados representam uma alternativa sustentável para elevar a capacidade de uso dos solos. Nesses sistemas, o sinergismo entre os componentes pode resultar em aumento de produtividade tanto das culturas quanto dos animais mantidos na área. Nota-se ainda um melhor aproveitamento da aplicação de corretivos e fertilizantes e um aumento da deposição de matéria orgânica e da atividade de microrganismos no solo (Salton *et al.*, 2014). Assim, diversos estudos demonstraram que, nos sistemas integrados, ocorrem importantes melhorias em diversos aspectos físicos, químicos e biológicos do solo, de forma sustentável. Portanto, objetivou-se revisar os aspectos básicos relacionados à fertilidade dos solos e demonstrar os principais impactos dos sistemas integrados sobre a qualidade dos solos.

1. Fertilidade dos solos: aspectos gerais

O solo representa um material biologicamente ativo, proveniente das transformações complexas que envolvem o intemperismo de rochas, a ciclagem de nutrientes, a produção e a decomposição de biomassa (Lopes e Guilherme, 2016). Desse modo, o solo é composto por uma coleção de corpos minerais e orgânicos, constituídos por partes tridimensionais, que podem ser sólidas, líquidas ou gasosas (Santos *et al.*, 2018).

Um fator determinante na capacidade de uso do solo refere-se ao seu nível de fertilidade. Segundo Ronquim (2010), o solo fértil é aquele que contém os nutrientes essenciais em quantidades suficientes e balanceadas para o desenvolvimento adequado das plantas cultivadas. De forma semelhante, Braga (1983) conceitua a fertilidade do solo como "a capacidade do solo de ceder elementos essenciais às plantas". É importante destacar que os aspectos físicos do solo são fundamentais na avaliação da fertilidade, pois relacionam-se com a disponibilidade, com o aproveitamento e com a manutenção dos nutrientes no solo. Além disso, diversos estudos demonstraram a importância dos fatores bióticos, como microrganismos e pequenos invertebrados nos solos (Vilela *et al.*, 2011;

Salton *et al.*, 2014). Assim, o solo fértil é aquele que apresenta características físicas, químicas e biológicas adequadas (Ronquim, 2010).

A fertilidade do solo pode advir de causas naturais ou ser criada pela interferência humana durante o cultivo. Portanto, não se trata de uma característica estática, e sim de um processo altamente dinâmico (Lopes e Guilherme, 2015). Para facilitar o entendimento do conceito de fertilidade do solo, didaticamente, utilizam-se os termos "fertilidade natural", "fertilidade potencial" e "fertilidade atual" (Buol *et al.*, 1974).

A fertilidade natural é definida como a fertilidade inerente ao solo, oriunda do seu processo de formação. Representa um termo utilizado para se avaliarem os solos que não sofreram interferência antrópica e implica a capacidade original dos solos em ceder nutrientes para as culturas. Por outro lado, a fertilidade atual é usada para avaliar os solos que foram modificados pela atuação humana. Logo, é comumente empregada na avaliação dos solos que foram submetidos a manejos agrícolas, como revolvimento, plantio, correção e adubação mineral ou orgânica. Já a fertilidade potencial é utilizada quando se constata a presença de algum elemento ou característica que impede o solo de mostrar sua real capacidade de ceder nutrientes. Assim, nesses solos, a capacidade de uso geralmente é pequena, ainda que a fertilidade potencial seja alta. Um exemplo de solos com elevada fertilidade potencial são os ácidos e ricos em nutrientes. As causas da elevada fertilidade potencial desses solos serão discutidas posteriormente.

2. Classificação e uso dos solos brasileiros

Conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos *et al.*, 2018), os solos brasileiros podem ser divididos em 14 classificações, levando-se em consideração os seus atributos físico-químicos. Nessa divisão, os solos classificados como Latossolos e Argissolos ocupam cerca de 58% do território nacional. Esses solos geralmente são profundos, altamente intemperizados, ácidos, de baixa fertilidade natural e, em certos casos, com alta saturação por alumínio. Além disso, existem os solos de média a alta fertilidade no Brasil, em geral pouco profundos devido ao baixo grau de intemperismo. Esses solos, por sua vez, enquadram-se nas classes dos Neossolos, Luvisolos, Planossolos, Nitossolos, Chernossolos e Cambissolos e, juntos, representam cerca de 30% do território nacional. Portanto, a maior parte dos solos brasileiros apresentam baixa fertilidade natural.

Entretanto, o uso gradativo de tecnologias, como aplicação de corretivos e fertilizantes, e de práticas de manejo mais eficientes aumentou a capacidade de uso dos

solos do país (Embrapa, 2018). Esse aumento ocorreu principalmente no Cerrado, segundo maior bioma da América do Sul, que ocupa cerca de 22% do território nacional (MMA, 2015). O cerrado é tipicamente constituído por solos de baixa fertilidade natural (Silva, 2019) e possui diversos aspectos frequentemente observados em solos de regiões tropicais. Entre esses aspectos, cita-se a elevada concentração de óxidos, principalmente de alumínio e de ferro, e as elevadas perdas de bases por lixiviação (Silva, 2019).

Conforme Erisman (2008), o uso de práticas relacionadas ao aumento da fertilidade dos solos agrícolas foi o responsável por grande parte do aumento de produtividade das culturas constatado recentemente no país. No entanto, é importante considerar que a fertilidade do solo é apenas um entre os vários fatores que determinam a produtividade agrícola. Fatores como clima, relevo, fotoperíodo, disponibilidade hídrica e características intrínsecas da cultura (espécie e cultivar) também são determinantes. Assim, é importante considerar que um solo pode ser fértil sem necessariamente ser produtivo (Ronquim, 2010). Considerando-se a complexidade e o número de variáveis que determinam a fertilidade final dos solos, a seguir serão apresentados os conceitos básicos de maior uso e relevância nesse contexto.

3. Conceitos básicos relacionados à avaliação da fertilidade

3.1 Elementos químicos essenciais

O uso do conceito de fertilidade do solo, como a já citada “capacidade de ceder elementos essenciais às plantas”, requer o entendimento dos aspectos que conferem o caráter essencial de um nutriente no solo. Conforme Epstein (1975), o elemento essencial é aquele que faz parte da molécula de um constituinte essencial à planta. Com isso, a ausência desse tipo de elemento impede que a planta complete o seu ciclo de forma direta. Além disso, a deficiência de um nutriente dessa natureza desencadeia sinais específicos e pode ser prevenida ou corrigida somente mediante seu fornecimento. Um exemplo clássico de um elemento que satisfaz esse critério é o magnésio (Mg), constituinte da molécula de clorofila (Lopes e Guilherme, 2007).

Cerca de 90% da matéria seca de uma planta é composta pelo carbono (C), pelo hidrogênio (H) e pelo oxigênio (O) (Lopes e Guilherme, 2007). Assim, a essencialidade desses elementos é evidente. Contudo, o C, o H e o O são fixados nos tecidos vegetais pela absorção de água e pela transformação do CO₂, via fotossíntese. Dessa forma, nos estudos de fertilidade do solo, esses três elementos não são considerados.

Juntamente com o C, o H e o O, outros seis componentes são absorvidos e exigidos em quantidades superiores aos demais. Esses nutrientes são referidos como os macronutrientes ou nutrientes principais e são constituídos pelo nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), enxofre (S), cálcio (Ca) e magnésio (Mg). Existem ainda outros componentes, referidos como micronutrientes ou elementos-traço, que também são essenciais ao desenvolvimento das plantas, porém são exigidos em menores quantidades. Esses nutrientes são: ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn), cobre (Cu), boro (B) molibdênio (Mo) e cloro (Cl) (Furtuni Neto *et al.*, 2001).

Destaca-se que muitas vezes os nutrientes podem estar presentes no solo, mas não necessariamente disponíveis para a absorção vegetal. Entre os diversos aspectos que interferem na disponibilidade dos nutrientes, cita-se a textura do solo. Nesse sentido, um importante elemento que tem sua disponibilidade afetada pela textura é o P, cuja disponibilidade é tão menor quanto maior for o teor de argila. Portanto, a interpretação da disponibilidade de P no solo deve levar em consideração a textura.

A maior parte dos macros e dos micronutrientes encontram-se adsorvidos nas frações minerais e orgânicas do solo. Essas frações organizam-se como coloides, que representam partículas do solo de tamanho reduzido (Ronquim, 2010). Parte dos nutrientes também se encontram dissolvidos na solução do solo. Contudo, a quantidade de nutrientes em solução geralmente é baixa (Furtuni Neto *et al.*, 2001).

3.2 Capacidade de troca de cátions e saturação por bases

Os principais componentes dos coloides dos solos tropicais são as argilas coloidais, as substâncias húmicas e os sesquióxidos de ferro e de alumínio (Ronquim, 2010). Esses componentes geralmente apresentam superfície eletricamente carregada, que pode reter íons de forma trocável (reversível) ou não e com diferentes intensidades. Ressalta-se que, sem essa condição, os nutrientes do solo seriam intensamente perdidos por percolação da água (lixiviação). Portanto, as cargas elétricas coloidais conferem a capacidade de reter ânions e cátions (nutrientes ou não) que foram liberados pelo intemperismo dos minerais primários ou pela decomposição da matéria orgânica (Baldotto e Velloso, 2014).

Devido ao maior número de cargas negativas do que positivas nos coloides, a adsorção é principalmente de cátions (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , H^+ e Al^{3+}). A quantidade total de cátions retidos na superfície coloidal em condição permutável representa a capacidade de troca de cátions (CTC) de um solo (Ronquim, 2010). Logo, a CTC dos solos representa a

gradação da capacidade de liberação de vários nutrientes, o que favorece a manutenção da fertilidade por um prolongado período (quando elevada).

Entretanto, é importante considerar a natureza dos cátions adsorvidos para se prever a fertilidade dos solos. Quando a maior parte da CTC do solo está ocupada por cátions como o Ca^{2+} , o Mg^{2+} e o K^+ , pode-se dizer que esse solo é favorável ao desenvolvimento das culturas. Por outro lado, se grande parte da CTC está ocupada por cátions potencialmente tóxicos, como o H^+ e o Al^{3+} , o solo é considerado pobre. Destaca-se que os íons H^+ são retirados da superfície de adsorção apenas por reação direta com hidroxilas (OH^-) (Furtini Neto *et al.*, 2001). Portanto, a sua presença reduz a CTC do solo (CTC efetiva).

Com a determinação da CTC, é possível estimar a fertilidade potencial dos solos, a partir do cálculo de saturação por bases (V%). A saturação por bases representa a soma das bases trocáveis (Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+), expressa em porcentagem de CTC ou T [$\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+ + (\text{H}^+ + \text{Al}^{3+})$] (Ribeiro *et al.*, 1999). Com isso, baixos valores de V indicam que há pequenas quantidades de cátions adsorvidos aos colóides e que a maior parte dessas bases está neutralizada por H^+ e/ou Al^{3+} . Sabe-se que a concentração de H^+ , medida pelos valores de pH, representa os níveis de acidez do solo. Assim, os solos com baixo V geralmente são ácidos e podem apresentar concentrações de alumínio em níveis tóxicos (Ribeiro *et al.*, 1999).

Os solos de maior fertilidade, com valores de V maiores ou iguais a 50%, são classificados como eutróficos. Já os solos de menor fertilidade, com valores de V menores do que 50%, são classificados como distróficos. Ressalta-se que alguns solos distróficos podem ser muito pobres em Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ e apresentar teor de alumínio trocável muito elevado. Nas situações em que a concentração de alumínio é superior a 50%, os solos são classificados como álicos (muito pobres).

3.3 Toxicidade e acidez dos solos

Resumidamente, a toxicidade pela presença dos íons de H^+ e de Al^{3+} pode ocorrer de forma direta sobre o metabolismo das plantas (Echart e Cavalli-Molina, 2001) ou de forma indireta. Um importante exemplo de impactos indiretos refere-se à redução da disponibilidade de P. Essa redução ocorre devido a uma forte interação eletrostática entre o fosfato (PO_3^-) e o Al^{3+} , que é de difícil separação em meio ácido. Dessa forma, nos solos álicos, mesmo que a concentração de P seja elevada, uma pequena fração desse nutriente será efetivamente absorvida pelas plantas. Conforme Bot *et al.* (2000), a toxidez causada

por Al^{3+} afeta cerca de 63% de toda a área de solos do Brasil, e cerca de 25% do território brasileiro apresenta solos com elevada capacidade de fixação de P.

Em relação à acidificação dos solos, destaca-se que se trata de um processo químico que ocorre naturalmente (Goulding, 2016). Esse processo advém principalmente da intensa percolação de bases, provenientes do intemperismo das rochas pela água das chuvas. Assim, em regiões de clima tropical, em que a ação das chuvas e das altas temperaturas é mais intensa, os solos geralmente são mais velhos e, portanto, mais ácidos. A acidificação também pode acontecer como consequência da adubação, especialmente em virtude do uso dos adubos nitrogenados. De forma simplificada, esse processo ocorre pela liberação de íons H^+ , por meio da transformação dos resíduos no solo. Tal condição assume grande importância no cenário atual, em que os sistemas produtivos estão cada vez mais intensificados (Yan *et al.*, 2020). O controle da acidez dos solos é fundamental, pois interfere de forma negativa e direta no desenvolvimento vegetal e na disponibilidade de nutrientes, como o cálcio e o magnésio (Ribeiro *et al.*, 1999).

3.4 Equilíbrio entre nutrientes no solo

A proporção entre os nutrientes disponíveis no solo é um fator determinante no sucesso das culturas. Nesse sentido, Liebig (1843) estabeleceu um importante princípio para o entendimento da fertilidade dos solos conhecido como a Lei dos Mínimos. Essa lei é extensamente usada na orientação dos programas de adubação e no manejo geral dos solos. Nela, define-se que o crescimento vegetal é limitado por aquele nutriente que se encontra em menor proporção no solo em relação à necessidade das plantas. Assim, mesmo que os demais nutrientes estejam em teores suficientes no solo, o desenvolvimento das culturas será limitado pelo elemento essencial de menor disponibilidade. Esse aspecto evidencia a importância de se analisarem os solos a serem trabalhados e de se realizarem adubações adequadas e manejos que minimizem as perdas de nutrientes.

É relevante destacar também que os nutrientes do solo interagem entre si, ou seja, um ou mais elementos exercem influência mútua ou recíproca. Essa interação é denominada como positiva/sinérgica quando a presença de dois ou mais nutrientes no solo potencializa a produtividade das culturas (Grohskopf *et al.*, 2019). Por outro lado, essa interação também pode ser negativa/antagônica, isto é, quando a presença de um determinado elemento limita a ação do outro. Um exemplo desse tipo de interação é a redução da disponibilidade de P em solos ricos em Al^{3+} .

3.5 Matéria orgânica e fertilidade dos solos

A matéria orgânica (MO) do solo representa toda substância morta que tenha origem em resíduos animais ou vegetais, em diversos estágios de decomposição. A matéria orgânica apresenta um papel relevante no equilíbrio dos estoques de carbono do planeta, pois contém mais carbono do que toda a vegetação mundial e na atmosfera em conjunto (Lehamann e Kleber, 2015). Em relação à qualidade dos solos, a MO possui uma considerável capacidade condicionante, com diversos impactos positivos sobre os atributos físicos do solo. Nota-se ainda que a MO contém praticamente os macros e os micronutrientes e, além disso, confere maior disponibilidade dos nutrientes no solo. Porém, o impacto desses benefícios é variável, devido à diversidade de componentes presentes na matéria orgânica, com pesos moleculares, grupos funcionais e polaridades distintos (Bejger *et al.*, 2018; Weber *et al.*, 2018). A seguir, serão detalhados os principais aspectos relacionados a esses benefícios.

O aumento da disponibilidade de nutrientes no solo decorre do desencadeamento de diferentes processos. Entre esses processos, cita-se a mineralização, que consiste na transformação dos elementos presentes em moléculas orgânicas para a forma inorgânica. Esse processo ocorre em etapas específicas dos ciclos biogeoquímicos, como o do carbono e o do nitrogênio, com a atividade de microrganismos, como as bactérias e os fungos (Moreira e Siqueira, 2006). Sabe-se que os nutrientes são absorvidos pelas plantas na forma inorgânica. Desse modo, a mineralização eleva a disponibilidade de nutrientes no solo de maneira direta (disponibilização dos nutrientes da própria matéria orgânica) (Pellitier e Donald, 2017).

Durante o processo de decomposição da matéria orgânica, ocorre a formação de ácidos orgânicos, também relacionados ao aumento da disponibilidade de nutrientes. Os ácidos orgânicos competem com os elementos pela ocupação dos sítios de troca da fase sólida do solo, e, com isso, há um aumento da disponibilidade dos nutrientes. Esses ácidos também podem se complexar com íons indesejáveis, como o H^+ e Al^{3+} , o que eleva os valores de pH e aumenta a disponibilidade de bases, como o Ca, o Mg e o K, e de ânions fosfato no solo (Pavinato e Rosolem, 2008).

A matéria orgânica também atua como um fator condicionante. Um exemplo dessa atuação é o aumento da CTC do solo. Esse aumento ocorre devido à elevada capacidade eletrostática das substâncias húmicas, que são as substâncias orgânicas remanescentes após a transformação (decomposição) da biomassa (Ukalska-Jaruga *et al.*,

2018). Assim, considera-se que as substâncias húmicas possuam CTC até 10 vezes maiores do que as argilas minerais, como a montmorilonita. Em comparação com os coloides formados pelos óxidos de Fe e Al, essa diferença pode ser de até 100 vezes, conforme demonstrado por Mello *et al.* (1983).

Tabela 1. Capacidade de troca de cátions dos principais coloides do solo sob condições tropicais

Coloide	CTC - mmol _c /dm ³
Caolinita	50 - 150
Montmorilonita	500 - 1000
Ilita	100 - 500
Vermiculita	1000 - 1500
Alofana	250 - 700
Óxidos de Fe e Al	20 - 50
Substâncias húmicas	1500 - 5000

Adaptado de Mello *et al.* (1983).

Dessa forma, a manutenção da matéria orgânica pode ser uma importante ferramenta para o aumento da fertilidade dos solos, principalmente os altamente intemperizados (maior parte dos solos brasileiros) (Santos *et al.*, 2018). Entretanto, deve-se considerar que as cargas negativas das substâncias húmicas são provenientes da dissociação de íons H⁺ de radicais carboxílicos e fenólicos. Portanto, a CTC da matéria orgânica é efetiva somente quando os valores de pH forem elevados, devido à neutralização dos íons de H⁺ pelas hidroxilas. Assim, maiores concentrações de matéria orgânica levam a um aumento da CTC em solos que foram previamente corrigidos ou que são naturalmente pouco ácidos.

As substâncias húmicas são compostos orgânicos condensados que diferem de outros polímeros por sua estrutura molecular e elevada persistência no solo (Baldotto e Baldotto, 2014). São divididas em três frações coloidais distintas: os ácidos fúlvicos, os ácidos húmicos e as huminas. A formação dessas substâncias depende das condições climáticas, das propriedades químico-biológicas dos solos (Post, King e Wullschleger, 1996) e das propriedades da matéria orgânica em si. Os mecanismos específicos da formação das substâncias húmicas ainda não são um consenso na literatura (Baldotto *et al.*, 2010). Contudo, de um modo geral, sabe-se que a “humificação” da matéria orgânica ocorre pela ação oxidante de microrganismos, como bactérias e fungos, em meio aeróbico (Thurman, 1985; Baldotto e Baldotto, 2014).

3.6 Matéria orgânica e estrutura dos solos

A matéria orgânica desempenha um papel fundamental na melhoria dos aspectos estruturais do solo. Conforme Bronick e Lal (2005), a estrutura do solo refere-se ao tamanho, à forma e ao arranjo das partículas sólidas e dos espaços vazios, a capacidade de reter e transmitir fluidos e a habilidade de suportar o desenvolvimento das raízes. A organização estrutural dos solos é variável e ocorre com a formação de unidades básicas denominadas como agregados do solo, que variam em tamanho, forma e estabilidade (Six *et al.*, 2004).

Os agregados são formados pela união entre as partículas do solo que se aderem de tal modo que se comportam mecanicamente como uma só unidade. Assim, os agregados são formados pela interação entre minerais, cátions polivalentes, matéria orgânica, microrganismos, raízes das plantas vivas, fragmentos de plantas e de microrganismos (Vezanni e Mielniczuk, 2011). Com base em seu tamanho, os agregados são divididos em dois tipos distintos: os macros e os microagregados. Os macroagregados são maiores ($> 0,25$ mm) e mais estáveis e resultam da atividade biológica no solo, como o crescimento de raízes e hifas fúngicas e a presença de resíduos de plantas, insetos e outros organismos (Salton *et al.*, 2014). Já os microagregados representam estruturas mais simples, de menor tamanho ($< 0,25$ mm) e menor estabilidade, formados essencialmente pela união entre cátions polivalentes e partículas minerais da fração argila, como a caulinita e os óxidos de Fe (Vezanni e Mielniczuk, 2011).

Dessa forma, a presença da matéria orgânica no solo favorece a formação dos macroagregados. Segundo Campos *et al.* (1995), o material orgânico é fonte de energia para a atividade microbiana, que atua como agente de estabilização. Além disso, a estrutura complexa da matéria orgânica, com longas cadeias de carbono, agrega partículas minerais (Gerke, 2018). Sabe-se que os solos mais agregados são considerados de melhor qualidade (Vezanni e Mielniczuk, 2009). Esses solos são menos densos e possuem maior porosidade, o que favorece a infiltração e a retenção da água no perfil. A maior agregação do solo também aumenta a resistência ao impacto direto das gotas de chuva. Assim, solos mais agregados e, portanto, ricos em matéria orgânica, possuem maior resistência aos processos erosivos.

A presença de raízes vivas também favorece a agregação dos solos, uma vez que os exsudatos liberados por esses tecidos representam uma importante fonte de energia aos microrganismos. Nesse sentido, gramíneas com maior densidade e maior distribuição

radicular no solo podem ser utilizadas com o objetivo de melhorar a qualidade dos solos em áreas degradadas (Silva e Mielniczuk, 1998).

Nota-se ainda que a matéria orgânica reduz a coesão e a plasticidade dos solos, o que favorece as operações de preparo e plantio. Ela também confere maior resistência à elevação da temperatura, principalmente quando há presença de cobertura na camada superficial do solo (palhada ou liteira). Essa camada superficial também representa uma importante proteção da superfície do solo contra o impacto das chuvas e a insolação. Por fim, a matéria orgânica representa a principal fonte de nutrientes e energia para os microrganismos do solo (Ribeiro *et al.*, 1999). Os microrganismos apresentam participação relevante na construção da fertilidade dos solos, por meio da fixação de nutrientes e da produção de compostos relacionados ao aumento da estabilidade estrutural dos solos (Moreira e Siqueira, 2006).

Portanto, a matéria orgânica é um importante condicionador biofísico que potencializa a capacidade de uso dos solos (Lopes e Guilherme, 2007). É relevante destacar que a maioria dos solos cultivados no mundo encontram-se esgotados em matéria orgânica (Ondrasek *et al.*, 2019). Essa condição é atribuída principalmente ao uso contínuo de práticas pouco conservadoras em sistemas de monocultivo e extrativistas. Nesses sistemas, a permanência da fração húmica pode ser muito curta, devido à maior atividade microbiana e enzimática, especialmente em solos tropicais e com baixos teores de argila (Siqueira e Franco, 1988). Sabe-se que a textura se relaciona com a retenção da matéria orgânica no solo. Conforme Ebeling *et al.* (2011), solos mais argilosos apresentam maior capacidade de retenção de ácidos fúlvicos (componentes das substâncias húmicas) e de carbono em comparação com solos de textura arenosa.

A redução gradativa da concentração de C orgânico no solo favorece o rompimento dos macroagregados em microagregados (Loss *et al.*, 2020). De acordo com Freitas *et al.* (2018), tal processo é acelerado pelo revolvimento excessivo dos solos. Essas operações pulverizam e desestabilizam os agregados do solo. Embora ocorra um aumento da macroporosidade na camada superficial, observa-se um adensamento das partículas imediatamente abaixo dessa camada, devido ao tráfego excessivo de máquinas e equipamentos. Além disso, a macroporosidade superficial é rapidamente perdida pela acomodação das partículas de solo desagregadas, o que diminui a aeração e o crescimento das raízes.

Segundo Wendling *et al.* (2012), a redução da porosidade do solo e o aumento da densidade representam o nível de compactação dos solos. A compactação do solo implica

restrições ao desenvolvimento do sistema radicular das plantas e menor disponibilidade de água e de nutrientes. Essa menor disponibilidade é causada principalmente pela diminuição dos macro/microporos, o que dificulta a aeração e a manutenção do equilíbrio biológico no solo e da respiração das raízes (Brady e Weil, 2002).

Dessa forma, a manutenção da produtividade dos solos tropicais requer a implementação de práticas de cultivo alternativas que minimizem as perdas de MO (Primavesi, 2006). Esse objetivo pode ser atingido pela adoção de práticas conservacionistas, baseadas no mínimo revolvimento, na inclusão de gramíneas perenes e na rotação/integração entre culturas e/ou animais. Com isso, verifica-se uma menor degradação da matéria orgânica (Bayer *et al.*, 2006) e a manutenção ou a recuperação da estrutura do solo (Haynes e Beare, 1996).

4. Impactos dos componentes dos sistemas integrados sobre a fertilidade do solo

Os sistemas integrados baseiam-se na coexistência espacial e/ou temporal de diferentes componentes produtivos do setor agropecuário em uma mesma área. Recentemente, esses sistemas têm recebido maior enfoque, devido à associação com o conceito de intensificação ecológica e sustentável. Essa associação advém da possibilidade de se aumentar a eficiência de uso dos solos, devido às interações sinérgicas entre os componentes vegetais, animais e do próprio solo, com a menor necessidade de abertura de novas áreas. Além disso, observa-se aumento da produtividade e da resiliência do sistema como um todo, tanto às perturbações do clima quanto do mercado. Portanto, o uso dos sistemas integrados minimiza a pressão sobre os ecossistemas naturais e, ao mesmo tempo, reduz o risco financeiro e produtivo nos sistemas agropecuários (Cordeiro *et al.*, 2015; Assis *et al.*, 2019).

Um dos principais responsáveis pelo caráter sustentável dos sistemas integrados refere-se ao aumento da fertilidade do solo (Loss *et al.*, 2014; Silva *et al.*, 2020). Nesse sentido, a rotação de culturas pode melhorar importantes atributos do solo, devido ao maior aporte de biomassa (parte aérea e raízes) e de matéria orgânica ao solo (Loss *et al.*, 2014). O uso da mesma área de forma consecutiva e/ou concomitante também aumenta a eficiência de uso dos corretivos e dos fertilizantes (Paciullo *et al.*, 2017) e pode elevar a diversidade e a atividade dos microrganismos no solo (Salton *et al.*, 2014).

A intensidade e as consequências das alterações citadas dependem do período de cultivo, do número de cultivos por ano e das espécies cultivadas. Essa intensidade também

depende dos aspectos climáticos (como a pluviosidade e as temperaturas médias) e edáficos (como a textura e a composição original dos solos). Ainda assim, existe um consenso na literatura em relação ao potencial dos sistemas integrados sobre a qualidade dos solos (Lemaire *et al.*, 2014; Sarto *et al.*, 2020). A seguir, será abordado como os principais componentes e práticas de manejo, usualmente presentes nos sistemas de integração lavoura-pecuária (ILP) e de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), atuam nesse contexto.

4.1 Plantio direto

O sistema de plantio direto (SPD) representa uma prática de manejo conservacionista, presente nos diferentes modelos de ILP e de ILPF. O plantio direto consiste em realizar a semeadura das culturas sem revolver o solo e diretamente sobre a matéria orgânica oriunda das culturas de cobertura (geralmente gramíneas), somadas aos resíduos das lavouras (geralmente leguminosas ou cereais). Conforme a Federação Brasileira de Plantio Direto e Irrigação – FEBRAPDP (2020), a área manejada sob o sistema de plantio direto no país aumentou de 180 ha, na safra de 1972/73, para quase 33 milhões de ha, em 2018. Esse aumento expressivo demonstra o potencial agrícola da técnica, que demanda um menor número de operações e, ao mesmo tempo, pode elevar ou manter a fertilidade do solo.

Segundo Briedis *et al.* (2018), a conversão das áreas de vegetação nativa para os sistemas baseados em áreas agrícolas geralmente resulta em perdas de C orgânico na camada superficial do solo. Essas perdas podem atingir valores entre 72 e 90% em sistemas baseados nas práticas tradicionais de cultivo. Por outro lado, a implementação do SPD nessas áreas pode restaurar a fração de C lábil em até 89%, ainda nos primeiros anos. Dessa forma, observa-se que os solos dos sistemas integrados com uso do SPD apresentam maior estabilidade dos agregados, porosidade/aeração (Loss *et al.*, 2014) e CTC (Galindo *et al.*, 2020), associados a uma menor densidade, em comparação com os sistemas tradicionais baseados no monocultivo (Marchão *et al.*, 2007). O aumento da proporção de matéria orgânica no solo advém das raízes e da liteira provenientes principalmente da cultura de cobertura/pastagem.

Além dos efeitos condicionantes devido à adição de matéria orgânica, observa-se ainda uma tendência de acúmulo de nutrientes, especialmente de Ca, Mg, K e P, nas camadas superficiais do solo. Esse acúmulo é decorrente da decomposição e da liberação dos nutrientes presentes nos tecidos vegetais das culturas remanescentes. Como não há o

revolvimento do solo, esses nutrientes permanecem concentrados nas camadas superficiais (Ferreira *et al.*, 2009). O não revolvimento do solo também favorece o desenvolvimento de microrganismos, principalmente dos fungos.

É importante citar que o grau de perturbação, a umidade e a presença de resíduos são fatores determinantes na proporção de biomassas bacteriana e fúngica presentes nos agroecossistemas (Zhao *et al.*, 2015). Dessa forma, observa-se que a diversificação das espécies vegetais nos sistemas integrados com SPD pode elevar a diversidade de espécies de fungos micorrízicos arbusculares (Miranda e Miranda, 2007) e de grupos da macrofauna invertebrada do solo (Marchão *et al.*, 2009; Salton *et al.*, 2014). A macrofauna invertebrada do solo desempenha papel-chave nos ecossistemas por participar em diferentes níveis tróficos da cadeia alimentar. Esses invertebrados alteram as populações e a atividade de microrganismos responsáveis pelos processos de mineralização e humificação da MO, além de alterarem a disponibilidade de nutrientes assimiláveis pelas plantas (Salton *et al.*, 2014). Os fungos micorrízicos arbusculares, por sua vez, podem aumentar a absorção de nutrientes do solo pelas plantas, como o fósforo, deficiente na maioria dos solos do Cerrado.

Portanto, o SPD é considerado um marco no que se refere à conservação e à preservação dos solos no Brasil (Andrade *et al.*, 2018). Contudo, a implantação desse sistema, em muitas situações, não foi adequadamente planejada e ocorreu sem a adoção das recomendações técnicas necessárias. Dessa forma, alguns empreendimentos agropecuários ainda são resistentes ao uso dessa técnica. Conforme Andrade *et al.* (2018), as principais causas de insucesso e desafios do SPD são a dificuldade de manutenção de uma cobertura permanente sobre a superfície do solo e o monocultivo.

A cobertura adequada do solo é um grande desafio do SPD, especialmente em regiões que apresentam período de chuvas irregular e/ou curto, como no Cerrado (Andrade *et al.*, 2018). Nesses locais, as culturas podem deixar quantidades insuficientes de palha para o recobrimento do solo, devido ao baixo acúmulo de biomassa e à elevada velocidade de decomposição. Em tais situações, podem-se observar impactos negativos sobre determinados atributos do solo, como o aumento da compactação da camada superficial.

Entretanto, em condições de manejo adequadas, a maior parte dos trabalhos constataram uma redução da compactação dos solos manejados com o SPD em sistemas integrados, em comparação com os solos manejados nos sistemas tradicionais de cultivo (Loss *et al.*, 2014; Assis *et al.*, 2019). Os principais fatores responsáveis por essa redução

referem-se ao desenvolvimento do sistema radicular das gramíneas usadas como culturas de cobertura/pastagem e ao menor tráfego de máquinas e equipamentos sobre a área cultivada (Debiasi *et al.*, 2008). Sabe-se que solos menos compactados favorecem a atividade biológica, pois a aeração é fundamental para o desenvolvimento de importantes microrganismos no solo, como os fungos micorrízicos.

A compactação do solo é mensurada pela densidade aparente, que corresponde à massa do solo seco por unidade de volume, incluindo o espaço poroso. Em geral, admite-se que solos com valores de densidade acima dos $1,4 \text{ kg/m}^3$ estão compactados, a não ser que se trate de um solo argiloso. Além da densidade aparente, a compactação dos solos também pode ser avaliada pela resistência mecânica à penetração (Hillel, 1998). Franchini *et al.* (2009) determinaram a resistência do solo à penetração (RP) em um sistema de produção de soja em ILP e SPD implementado após sete anos de cultivo tradicional em comparação com o sistema tradicional de cultivo. No local em que foi utilizado o cultivo tradicional, os autores encontraram valores de RP superiores ao considerado limitante ao desenvolvimento da soja. Por outro lado, nas áreas em que houve a introdução da pastagem em SPD, os valores de RP permaneceram abaixo desses limites logo no primeiro ano após implantação.

Os autores atribuíram os resultados principalmente à ação do sistema radicular da *Urochloa brizantha* que, devido a sua agressividade e vigor, foi capaz de romper as camadas compactadas. Além disso, a biomassa produzida na parte aérea e nas raízes das pastagens aumenta o aporte de matéria orgânica, o que também pode proporcionar melhor estrutura ao solo (Debiasi *et al.*, 2008). Ainda no trabalho conduzido por Franchini *et al.* (2009), os autores também observaram um pequeno aumento, porém significativo, dos valores de RP nos sistemas de ILP no segundo ano após implantação, especialmente na camada de 10 a 20 cm do solo. Esse aumento foi associado ao efeito cumulativo do pisoteio animal na área.

4.2 Componente animal e qualidade dos solos

O pisoteio dos animais representa um dos principais pontos negativos geralmente citados em relação aos sistemas de ILP e de ILPF. Lanzasova *et al.* (2007) avaliaram os atributos físicos dos solos de duas áreas de ILP com ou sem pastejo. Como resultado, os autores constataram uma redução da macroporosidade e da porosidade total na camada superficial do solo nas áreas pastejadas. Apesar desses resultados, deve-se considerar que diversos aspectos interferem na magnitude dos danos causados pelo pisoteio dos animais

no sistema. Ressalta-se ainda que, quando os impactos negativos do pisoteio animal ocorrem, geralmente ficam limitados às camadas superficiais e podem ser temporários e reversíveis (Ambus *et al.*, 2018).

Marchão *et al.* (2007), em um experimento com 13 anos de duração, avaliaram a qualidade dos solos de sistemas de ILP no Cerrado brasileiro, formados com diferentes espécies forrageiras. Nesse sistema, a alternância entre pastagem e lavoura ocorreu a cada quatro anos. Os autores demonstraram que o pisoteio animal durante a fase de pastagem não atingiu valores limitantes ao crescimento vegetal. Também constataram maior compactação de solo nas áreas formadas com gramíneas de crescimento cespitoso (*Megathyrsus maximum*). Esse tipo de crescimento vegetal oferece menor capacidade de distribuir a pressão imposta pelo pisoteio em comparação com as plantas que cobrem melhor o solo (Torres *et al.*, 2012).

Além da espécie forrageira, a taxa de lotação e a massa de forragem são fatores determinantes na atuação do pisoteio sobre a densidade do solo. Moreira *et al.* (2014), em um estudo com sete anos de duração, avaliaram os atributos físicos do solo manejado em sistemas de ILP. Os tratamentos avaliados consistiram em quatro alturas de pastejo (7, 14, 21 e 28 cm) e um tratamento controle (testemunha) em pastagens formadas com aveia e azevém durante o inverno. No verão, a área foi cultivada com soja ou milho. A intensificação do pastejo reduziu a aeração e aumentou a densidade dos solos de forma gradativa, especialmente nas camadas superiores.

Outros trabalhos também evidenciaram a importância do adequado ajuste na taxa de lotação para se garantir a longevidade produtiva e a qualidade física dos solos manejados em sistemas de ILP (Ortigara *et al.*, 2014). Contudo, observa-se que a utilização de intensidades de pastejo moderadas, conforme a capacidade de suporte da área, promove pouco ou nenhum dano à compactação do solo (Bortolini *et al.*, 2016; Ambus *et al.*, 2018; Mattei *et al.*, 2020). É importante ressaltar que outros aspectos, como a classe textural (Bortolini *et al.*, 2016), o teor de umidade, (Marchão *et al.*, 2007) e a categoria animal, também interferem nos efeitos do pisoteio sobre a qualidade física dos solos.

A presença dos animais também tem sido relacionada ao aumento da estabilidade e ao tamanho dos agregados do solo. Souza *et al.* (2010) avaliaram esses aspectos nos solos manejados em sistema ILP pastejados no período de inverno (aveia e azevém) em rotação com o cultivo de soja no verão. Os autores compararam três intensidades de pastejo (leve, moderada e intensa) com um grupo controle (sem pastejo). Os resultados

encontrados apontaram que o pastejo promoveu maior agregação do solo em relação às áreas não pastejadas e os maiores valores foram observados nas intensidades de pastejo moderadas. Os resultados foram justificados, principalmente, pelo maior estímulo ao desenvolvimento das pastagens após a desfolha (rebrote após o pastejo). Com isso, ocorre um aumento do acúmulo de resíduos vegetais, sobretudo nas raízes. Além disso, a maior produção de exsudatos pelas raízes (estimulada pelo pastejo), associada à deposição de urina e fezes, pode elevar a atividade microbiana no solo (fonte de energia e nutrientes) (Moraes *et al.*, 2014). Essa condição é positivamente relacionada com a formação de macroagregados. Porém, tal efeito positivo ocorreria apenas até o ponto em que a intensidade do pastejo começa a causar compactação do solo e um consequente declínio na macroporosidade e no fornecimento de oxigênio.

Além das modificações físicas, a inclusão do componente animal leva a uma redistribuição de nutrientes no sistema, no processo de consumo da pastagem e na excreção. Portanto, os animais são agentes intensificadores da ciclagem de nutrientes. Nota-se ainda que os animais podem reduzir a disponibilidade de nutrientes no sistema, via exportação de elementos fixados nos produtos, como a carne e o leite. Essa exportação varia conforme a quantidade de produtos formados por área (Carvalho *et al.*, 2010). Contudo, conforme demonstrado por Souza *et al.* (2010), essa redução de nutrientes é minimizada quando há um uso adequado da área, com ajustes na taxa de lotação.

Alguns trabalhos citaram ainda um aumento da disponibilidade de nutrientes no solo com a introdução do componente animal no sistema. Deiss *et al.* (2016) qualificaram e quantificaram os compostos orgânicos e inorgânicos de P no solo em sistemas de ILP, pastejados de forma moderada no inverno. Os autores não observaram diferenças no teor total de P no solo. Porém, houve um aumento das formas de maior biodisponibilidade nos solos que foram pastejados. Esse aumento de biodisponibilidade foi constatado pelo aumento proporcional da forma orgânica em comparação com a inorgânica. Portanto, os autores concluíram que os sistemas de cultivo que integram a pecuária podem ser uma alternativa sustentável para melhorar o uso de P.

Conforme discutido anteriormente, a presença da matéria orgânica eleva a disponibilidade dos nutrientes no solo, e o pastejo moderado pode aumentar a adição de resíduos vegetais e de matéria orgânica ao solo (maior massa e exsudação das raízes das gramíneas). Logo, o aumento da disponibilidade de P constatado por Deiss *et al.* (2016) poderia ser justificado pelo maior aporte de matéria orgânica ao solo. Contudo, é

importante ressaltar que fatores diretamente ligados à presença dos animais também podem atuar no aumento de disponibilidade dos nutrientes.

De acordo com Davinic *et al.* (2013), a atuação direta dos microrganismos oriundos do trato digestivo dos animais no solo pode elevar a taxa de mineralização da matéria orgânica. Além disso, em relação ao P especificamente, sabe-se que os ruminantes são capazes de hidrolisar o ácido fítico (Humer e Zebeli, 2015), o qual representa um complexo formado pela interação entre o fosfato e o inositol que reduz a disponibilidade do fósforo. Desse modo, a maior parte do P ingerido pelos ruminantes é eliminada sob a forma de ortofosfato, que é prontamente disponível para plantas.

Apesar dos benefícios diretos e indiretos sobre o aumento da disponibilidade de nutrientes no solo, é importante ressaltar que as adubações de reposição são fundamentais para se garantir a sustentabilidade dos sistemas de produção em longo prazo (exportação de nutrientes).

4.3 Componente arbóreo e qualidade dos solos

Assim como nos sistemas de ILP, nos sistemas de ILPF também se observa um aumento significativo da qualidade do solo, em comparação com os solos de pastagens manejados de forma convencional (Oliveira *et al.*, 2017). Entretanto, a presença das árvores no sistema desencadeia diferentes processos no solo, o que resulta em importantes diferenças entre os solos dos sistemas de ILPF e de ILP. As árvores atuam de forma direta sobre as perdas de nutrientes causadas por processos como a lixiviação e a erosão e aumentam a disponibilidade de nutrientes pela sua maior liberação na matéria orgânica do solo (Sarto *et al.*, 2020). Além disso, as raízes das árvores alcançam nutrientes em maiores profundidades, geralmente fora do alcance do sistema radicular das culturas (Franzluebbers *et al.*, 2017). Com isso, pode haver um aumento da concentração desses nutrientes na superfície, com a posterior decomposição e exsudação das raízes e de outros tecidos.

Outro aspecto único dos sistemas de ILPF diz respeito à atuação da sombra formada pela copa das árvores sobre as taxas de mineralização da matéria orgânica. Dessa forma, observa-se um aumento da disponibilidade de importantes macronutrientes no solo, como o nitrogênio. O aumento da taxa de mineralização da matéria orgânica se deve a uma atividade microbiana mais eficiente nos solos sombreados (Wilson, 1998), devido à maior estabilidade térmica e à maior retenção de umidade (Bretas *et al.*, 2020).

Observa-se ainda que, nos sistemas de ILPF, as modificações sobre as propriedades físico-químicas do solo ocorrem de modo desuniforme na área (Borges *et al.*, 2019). Assim, constatam-se importantes diferenças nos solos situados sob a linha de plantio das árvores, em comparação com o solo presente nas entrelinhas.

Conforme Assis *et al.* (2015), as diferenças físico-químicas dentro de uma mesma área manejada sob sistema de ILPF ocorrem devido à atuação dos animais na área. Sabe-se que, principalmente nas regiões tropicais, os animais tendem a se reunir sob a copa das árvores, com o objetivo de reduzir o desconforto térmico. Esse comportamento pode alterar diversas propriedades físicas e químicas do solo, em razão do maior pisoteio e da maior deposição de fezes e urina nesses locais. Borges *et al.* (2019), corroborando essa teoria, constataram um aumento da compactação do solo e uma redução da estabilidade dos agregados na camada superior dos solos situados ao lado da linha das árvores. Outros fatores também têm sido apontados como causadores da desuniformidade dos solos com a inclusão do componente arbóreo.

Segundo Almeida *et al.* (2014), a menor concentração de nutrientes no solo no espaço entre as linhas das árvores ocorre devido à menor competição por água e luz entre as culturas consorciadas nesses locais. Essa condição favorece o crescimento e a fixação de nutrientes nas culturas em comparação com os locais de maior sombreamento. Como o retorno desses nutrientes ao sistema ocorre através das fezes e da urina, a desuniformidade se potencializa em decorrência do comportamento dos animais nesses sistemas. Deve-se considerar também a elevada absorção e fixação de nutrientes pelas árvores (Silva *et al.*, 2016).

Em relação aos aspectos biológicos, também se observa um padrão de heterogeneidade. Sarto *et al.* (2020) avaliaram a atividade microbiológica no solo, em sistema de ILPF com eucalipto, por oito anos. Os autores constataram maior atividade enzimática e maior volume de biomassa microbiana com o aumento da distância das linhas de eucalipto. Os autores justificaram os resultados devido a um efeito químico de inibição direta sobre a atividade dos microrganismos. Esse efeito tem sido explicado pela atuação de um processo aleloquímico com a atuação de compostos liberados pela serapilheira do eucalipto. Portanto, observa-se que existe uma ampla variação em diversos aspectos relacionados à fertilidade dos solos dentro de uma mesma área manejada em sistema de ILPF. Essa condição implica maior rigor quanto à interpretação das análises de fertilidade realizadas nesses sistemas e pode ser importante para orientar as projeções, as formas de manejo e de uso dessas áreas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A fertilidade dos solos é determinada por um conjunto de fatores químicos, físicos e biológicos. Entre esses fatores, cita-se a importância da presença, da disponibilidade e do equilíbrio entre os nutrientes essenciais do solo, assim como da ausência de elementos tóxicos. Destaca-se ainda a relevância da matéria orgânica, considerando-se o seu papel condicionante e capacidade de promover diversas melhorias relacionadas à qualidade dos solos.

A maior parte dos solos brasileiros apresentam baixa fertilidade natural. Contudo, deve-se considerar o elevado potencial de aumento da capacidade de uso dos solos nacionais. A adoção dos sistemas de ILP e de ILPF é importante nesse contexto. Nesses sistemas, ocorre um aumento da qualidade geral e da capacidade de uso dos solos devido à adoção de práticas, como o plantio direto, e ao sinergismo entre os componentes. Deve-se considerar que o manejo e a forma como cada componente (vegetal, animal e florestal) é inserido no sistema interfere de modos específicos sobre a qualidade final dos solos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, F. L.; Calonego, J. C.; Tiritan, C. S.; Araújo, F. F.; Silva, P. C. G. 2014. Produtividade de soja em diferentes posições entre renques de eucalipto em cultivo consorciado. *Colloquium Agrariae*, v. 10, p. 33–44, doi: <https://doi.org/10.5747/ca.2014.v10.n1.a098>
- Ambus, J. V.; Reichert, J. M.; Gubiani, P. I.; Carvalho, P. C. F. 2018. Changes in composition and functional soil properties in long-term no-till integrated crop-livestock system. *Geoderma*, v. 330, p. 232-243.
- Andrade, A. T.; Torres, J. L. R.; Paes, J. M. V.; Teixeira, C. M.; Condé, A. B. T. 2018. Desafios do Sistema Plantio Direto no Cerrado. Informe Agropecuário, v. 39, n. 302, p. 18 - 26 .
- Assis, P. C. R.; Stone, L. F.; Oliveira, J. M.; Wruck, F. J.; Madari, B. E.; Heinemann, A. B. 2019. Atributos físicos, químicos e biológicos do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. *Revista Agrarian*, v. 12, n. 43, p. 57-70, doi: 10.30612/agrarian.v12i43.8520
- Baldotto, M. A.; Baldotto, L. E. B. 2014. Ácidos húmicos. *Revista Ceres [online]*. v. 61, p.856-881, doi: <https://doi.org/10.1590/0034-737x201461000011>.
- Baldotto, M. A.; Canela, M. C.; Canellas, L. P.; Dobbss, L. B.; Velloso, A. C. X. 2010. Redox index of soil carbon stability. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 34, p. 1543-1551.
- Baldotto, M. A.; Velloso, A. C. X. 2014. Eletroquímica de solos modais e de sua matéria orgânica em ambientes tropicais. *Revista Ceres*, v. 61, n. 6, doi: <https://doi.org/10.1590/0034-737X201461060018>
- Bayer, C.; Lovato, T.; Dieckow, J.; Zanatta, J.A.; Mielniczuk, J. 2006. A method for estimating coefficients of soil organic matter dynamics based on long-term experiments. *Soil & Tillage Research*, v. 91, p. 217-226
- Bejger, R.; Mielnik, L.; Włodarczyk, M.; Nicia, P. 2018. Studying the interaction between peat humic acid and metazachlor using spectroscopy methods. *Journal of Soils and Sediments*, v. 18, p. 2675–2681 doi: <https://doi.org/10.1007/s11368-018-1917-3>
- Borges, W. L. B.; Calonego, J. C.; Rosolen, C. A. 2018. Impact of crop-livestock-forest integration on soil quality. *Agroforestry Systems*, v. 93, p. 2111–2119.
- Bortolini, D.; Albuquerque, J. A.; Rech, C.; Mafra, A. L.; Ribeiro Filho, H. M. N; Pértile, P. 2016. Propriedades físicas do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em Cambissolo Húmico. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, v. 15, n. 1, p. 60-67.
- Bot, A. J.; Nachtergaele, F. O.; Young, A. 2000. Land resource potential and constraints at regional and country levels. *Land and Water Development Division, Food and Agriculture Organization*, 114p.
- Brady, N. C.; Weil, R. R. 2002. The nature and properties of soils. *New Jersey: Prentice Hall*, 960 p.
- Braga, J. M. 1983. Avaliação da fertilidade do solo (ensaios de campo). *Universidade Federal Viçosa*, 101 p.
- Bretas, I. L.; Paciullo, D. S. C.; Alves, B. J. R.; Martins, M. R.; Cardoso, A. S.; Lima, M. A.; Rodrigues, R. A. R.; Silva, F. F. S.; Chizzottia, F. H. M. 2020. Nitrous oxide, methane, and ammonia emissions from cattle excreta on *Brachiaria decumbens* growing in monoculture or silvopasture with *Acacia mangium* and *Eucalyptus grandis*. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. v. 295, n. 106896, doi: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.106896>

Briedis, C.; Sá, J.C.M.; Lal, R.; Tivet, F.; Franchini, J. C.; Ferreira, A. O.; Hartman, D. C.; Schimiguel, R.; Bressan, P. T.; Inagaki, T. M.; Romaniw, J.; Gonçalves, D. R. P. 2018. How does no-till deliver carbon stabilization and saturation in highly weathered soils? *Catena*, v. 163, p. 13-23.

Bronick, C.J.; Lal, R. 2005. Soil structure and management: A review. *Geoderma*, v. 124, p. 3-22.

Buol, S. W.; Sanches, P. A.; Cate, R. B.; Granger, M. A. 1974. Classificação de solos em base a su fertilidade. In: Alvarado, A e Bornemisza, E. Manejo de solos en la America Tropical. *North Caroline State University*, p. 129 - 144

Campos, B.C.; Reinert, D.J.; Nicolodi, R.; Ruedell, J.; Petrere, C. 1995. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo de solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 19, n. 1, p.121-126.

Carvalho, P. C. F.; Anghinoni, I.; Moraes, A.; Souza, E. D.; Sulc, R. M.; Lang, C. R.; Flores, J. P. C.; Lopes, M. L. T.; Silva, J. L. S.; Conte, O.; Wesp, C. L.; Levien, R.; Fontaneli, R. S. & Bayer, C. 2010. Managing grazing systems: Reaching nutrient cycling and soil improvement with pasture management. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v. 88, p. 259-273.

Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB. 2020. Safras. Disponível em: < <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras>>. Acesso em: 4 de ago. 2020.

Cordeiro, L. A. M.; Vilela, L.; Kluthcouski, J.; Marchão, R. L. 2015. Integração lavoura-pecuária –floresta – O produtor pergunta, a Embrapa responde. *Embrapa cerrados*. 400 p.

da Silva, E. C.; Muraoka, T.; Bastos, A. V. S.; Franzin, V. I.; Buzetti, S.; Soares, F. A. L.; Teixeira, M. B.; Bendassolli, J. A. 2020. Biomass and Nutrient Accumulation by Cover Crops and Upland Rice Grown in Succession Under No-Tillage System as Affected by Nitrogen Fertilizer Rate. *Journal of Crop Science and Biotechnology*, V. 23, n. 2, p. 117-126, doi:10.1007/s12892-019-0288-0

Davinic, M.; Moore-Kucera, J.; Acosta-Martínez V.; Zak, J.; Allen, V. 2013. Soil fungal distribution and functionality as affected by grazing and vegetation components of integrated crop–livestock agroecosystems. *Applied Soil Ecology*, v. 66, p. 61-70.

Debiasi, H.; Franchini, J. C.; Gonçalves, S. L. 2008. Manejo da compactação do solo em Sistemas de Produção de Soja sob semeadura direta. *Embrapa Soja*, ISSN 16167860, Londrina, PR 20 p.

Debiasi, H.; Franchini, J. C.; Gonçalves, S. L. C. 2008. Manejo da compactação do solo em sistemas de produção de soja sob semeadura direta. *Embrapa Soja*, Londrina, PR, 20 p.

Deiss, L.; Moraes, A.; Dieckow, J.; Franzluebbers, A. J.; Gatiboni, L. C.; Sasaki, L. G.; Carvalho, P. C. F. 2016 .Soil phosphorus compounds in integrated crop-livestock systems of subtropical Brazil. *Geoderma*, v. 274, p. 88-96

Dias-Filho, M. B. 2014. Diagnóstico das Pastagens no Brasil. Disponível em: www.cpatu.embrapa.br/publicacoesonline. Acesso em 30 de mar. 2020

Ebeling, A. G.; dos Anjos, L. H. C.; Pereira, M. G.; Pinheiro, E. F. M.; Valladare, G. S. 2011 Humic substances and relationship to soil attributes. *SOLOS E NUTRIÇÃO DE PLANTAS ARTIGO*, v. 70 n. 1, p 157-165, doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052011000100022>

Echart, C. L.; Cavalli-Molina, S. 2001. Fitotoxicidade do alumínio: efeitos, mecanismo de tolerância e seu controle genético. *Cienc. Rural [online]*, v. 31, n. 3, p. 531-541, doi: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782001000300030>.

Embrapa. 2018. Visão 2030: O Futuro da Agricultura Brasileira. *Embrapa*, 212 p, Brasília, DF

- Epstein, E. 1975. Nutrição mineral das plantas - Princípios e perspectivas. *São Paulo, Livros Técnicos e Científicos*. 341 p.
- Erismán, J. W.; Sutton, M. A.; Galloway, J.; Klimont, Z.; Winiwarter, W. 2008. How a century of ammonia synthesis changed the world. *Nature Geoscience*, v. 1, p. 636-639, doi: 10.1038/ngeo325.
- Federação Brasileira de Plantio Direto e Irrigação – FEBRAPDP. 2020. Evolução Área sob Plantio Direto no Brasil. Disponível em: <https://febrapdp.org.br/area-de-pd>. Acesso em: 4 de ago. 2020.
- Ferreira, E. V. O.; Anghinoni, I.; Carvalho, P. C. F.; Costa, S. E. V. G. A.; Cao, E. G. 2009. Concentração do potássio do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto submetido a intensidades de pastejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 33, p. 1675-1684.
- Franchini, J. C.; Debiasi, H.; Carrara, R.; França, C. B.; Winck, N. M.; Caumo, A. L.; Wruck, F. J.; Skorupa, L. A. 2009. Benefícios da Integração Lavoura-Pecuária sobre a Qualidade Física do Solo Visando à Sustentabilidade da Produção de Soja no Nordeste Matogrossense. *Workshop Integração-Lavoura-Pecuária-Floresta na Embrapa*.
- Franzluebbers, A.J.; Chappell, J. C.; Shi, W.; Cubbage, F. W. 2017. Greenhouse gas emissions in an agroforestry system of the southeastern USA. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v. 108, n. 1, p. 85-100.
- Freitas, L.; de Oliveira, I. A.; Casagrande, J. C.; Silva, L. S.; Campos, M. C. C. 2018. Estoque De Carbono De Latossolos Em Sistemas De Manejo Natural e Alterado. *Ciência Florestal*, v. 28, n. 1, p. 228-239.
- Furtuni Neto, A. E.; Vale, F. R.; Resende, A. V.; Guilherme, L. R. G.; Guedes, G. A. G. 2001. Fertilidade do solo. *Fundação de apoio ao Ensino, Pesquisa e Extensão – FAEPE*, 261 p.
- Galindo, F. S.; Delate, K.; Heins, B.; Phillips, H.; Smith, A.; Pagliari, P. H. 2020. Cropping System and Rotational Grazing Effects on Soil Fertility and Enzymatic Activity in an Integrated Organic Crop-Livestock System. *Agronomy*, v. 10, n. 803, doi:10.3390/agronomy10060803.
- Gasques, J. G. 2017. Sources of growth in Brazilian agriculture: total fator productivity. *EuroChoices*, v. 16, n. 1, p. 24-25. DOI: 10.1111/1746-692X.12146.
- Gerke, J. 2018. Concepts and Misconceptions of Humic Substances as the Stable Part of Soil Organic Matter: A Review. *Agronomy*, v. 8, n. 76 <https://doi.org/10.3390/agronomy8050076>
- Gomes, J. 2017. Mercado de alimentação saudável deve crescer 4,41% ao ano até 2021. *Diário Catarinense*.
- Goulding, K. W. T. 2016. Soil acidification and the importance of liming agricultural soils with particular reference to the United Kingdom. *Soil Use and Management*, v. 32, p. 390–399.
- Grohskopf, M. A.; Corrêa, J. C.; Fernandes, D. M.; Teixeira, P. C.; Cruz, C. V.; Mota, S. C. A. 2019. Interaction between Phosphorus and Nitrogen in Organomineral Fertilizer. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v. 50, n. 21, p. 2742-2755, doi: 10.1080/00103624.2019.1678632
- Haynes, R. J.; Beare, M. H. 1996. Aggregation and organic matter storage in meso-thermal, humid soils. In: Carter, M. R. & Stewart, B. A. Structure and organic matter storage in agricultural soils. *Boca Raton, CRC Press*, p.213-262.
- Hillel, D. 1998. Environmental soil physics. *San Diego: Academic Press*, 771 p.
- Humer, E.; Zebeli, Q. 2015. Phytate in feed ingredients and potentials for improving the utilization of phosphorus in ruminant nutrition. *Animal Feed Science and Technology*, v. 209, p.1-15.

- Lanzanova, M. E.; Nicoloso, R. S.; Lovato, T.; Eltz, F. L. F.; Amado, T. J. C.; Reinert, D. J. 2007. Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 31, p. 1131-1140.
- Lehmann, J.; Kleber, M. 2015. The contentious nature of soil organic matter. *Nature*, v. 528, p. 60-68, doi: 0.1038/nature16069
- Lemaire, G.; Franzluebbers, A.; Carvalho, P. C. F.; Dedieu, B. 2014. Integrated crop-livestock systems: strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 190, p. 4-8.
- Lopes, A. S.; Guilherme, L. R. G. 2007. Fertilidade do Solo e Produtividade Agrícola. In: Novais, R. F.; Alvarez, V.; Barros, N. F.; Fontes, R. L. F.; Cantarutti, R. B.; Neves, J. C. L. Fertilidade do Solo. *SBCS, Viçosa*, 1017 p.
- Lopes, A. S.; Guilherme, L. R. G. 2016. A Career Perspective on Soil Management in the Cerrado Region of Brazil. *Advances in Agronomy*. 72 p., doi: <http://dx.doi.org/10.1016/bs.agron.2015.12.004>
- Loss, A.; Ferreira, G. W.; Comin, J. J.; Pereira, M. G.; Freo, V. A.; Piccolo, M. C.; Brunetto, G. 2020. Carbono Orgânico Total e Oxidável em Agregados de um Argissolo Adubado com Dejetos Suínos. *Ciencia Del Suelo*, v. 38, p. 12-2.
- Loss, A.; Ribeiro, E. C.; Pereira, M. G.; Costa, E. M. 2014. Physical and chemical attributes in systems of the consortium and succession of crops, pasture and silvopastoral in Santa Teresa, Espírito Santo, Brazil. *Bioscience Journal*, v. 30, n. 5, p. 1347-1357.
- Marchão, R. L.; Balbino, L. C.; Silva, E. M.; Santos Junior, J. de D. G.; Sá, M. A. C. de; Vilela, L.; Becquer, T. 2007. Qualidade física de um Latossolo Vermelho sob sistemas de integração lavoura pecuária no Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 42, p. 873-82, doi: 10.1590/S0100-204X2007000600015.
- Mattei, E.; Oliveira, P. S. R. de; Rampim, L.; Rego, C. A. R. de M.; Bartzen, B. T. ; Vengen, A. P. 2020. Agronomic characteristics soybean exploitation in the crop-livestock integration system. *Research, Society and Development*, v. 9, n. 10, doi: <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i10.9114>
- Mello, F. de A.; Brasil Sobrinho, M. de O. C.; Arzolla, S.; Silveira, R. I.; Cobra Neto, A.; Kiehl, J. de C. 1983. Fertilidade do solo. *Nobel*, 400 p.
- Ministério do Meio Ambiente - MMA. 2015. O bioma Cerrado. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/biomas/cerrado.html>. Acesso em 05 de ago 2020.
- Miranda, J. C. C.; Miranda, L. N. 2007. Impacto do sistema de plantio direto na diversidade de espécies de fungos micorrízicos arbusculares nativos em solos de cerrado. *Embrapa Cerrados*, 4 p.
- Moraes, A.; Carvalho, P. C. F.; Anghinoni, I.; Lustosa, S. B. C.; Costa, S. E. V. G. A.; Kunrath, T. R. 2014. Integrated crop-livestock systems in the Brazilian subtropics. *European Journal of Agronomy*, v. 57, p. 4-9.
- Moreira, F. M. S.; Siqueira, J. O. 2006. Microbiologia e Bioquímica do Solo. In: Ecologia do solo. *Editora UFPA*, p. 83-161.
- Moreira, W. H.; Tormena, C. A.; Junior, E. B.; Petean, L. P.; Alves, S. J. 2014. Influência da altura de pastejo de azevém e aveia em atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférrico, após sete anos sob integração lavoura-pecuária. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* v. 38, n. 4, doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000400027>
- Oliveira, P. P. A.; Pezzopane, J. R. M.; e Méo Filho, P.; Berndt, A.; Pedroso, A. F. Bernardi, A. C. C. 2017. Balanço e emissões de gases de efeito estufa em sistemas integrados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE

SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA, 1; ENCONTRO DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA NO SUL DO BRASIL, 4. *Intensificação com sustentabilidade*. p. 23-32.

Ondrasek, G.; Begić, H. B.; Zovko, M.; Filipović, L.; Gergichevich, C. M.; Savić, R.; Zed Rengel, Z. 2019. Biogeochemistry of soil organic matter in agroecosystems & environmental implications. *Science of The Total Environment*, v. 658, n. 25, p.1559-1573.

Ortigara, C.; Koppe, E.; Luz, F. B.; Bertollo, A. M.; Kaiser, D. R.; Silva, V. R. 2014. Uso do solo e propriedades físico-mecânicas de Latossolo Vermelho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 38, n. 2, p. 619-626.

Paciullo, D. S. C.; Pires, M. F. A.; Müller, M. D. 2017. Oportunidades e desafios dos sistemas integrados na produção. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, v. 25, p. 25-35.

Pavinato, P. S.; Rosolem, C. A. 2008. Disponibilidade de nutrientes no solo - decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, n. 3, doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000300001>

Pellitier, P. T.; Donald R. Z. 2017. Ectomycorrhizal fungi and the enzymatic liberation of nitrogen from soil organic matter: why evolutionary history matters. *New Phytologist*, v. 217, n. 1, p. 68–73, doi: 10.1111/nph.14598

Post, W. M.; King, A. W.; Wullschleger, S. D. 1996. Soil organic matter models and global estimates of soil carbon. In: Powlson, D. S.; Smith, P.; Smith, J. U. Evaluation of soil organic matter models. *Springer-Verlag*, p. 201-224.

Primavesi, A. 2006. Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais. *Nobel*, 549 p.

Raij, B. V. Avaliação da fertilidade do solo. Piracicaba, Instituto de Potassa & Fosfato, Instituto Internacional da Potassa, 1981. 142 p.

Ribeiro, A. C.; Guimarães, P. T. G.; Alvarez V. V. H. 1999. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª Aproximação. *Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais – CFSEMG, Viçosa MG*, 359 p.

Ronquim, C. C. 2010. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais *Embrapa Monitoramento por Satélite*, ISSN. 1806-3322, Campinas, SP.

Salton, C. J.; Mercante, F. M.; Tomazi, M.; Zanatta, J. A.; Consenço, G.; Silva, W. M.; Retore, M. 2014. Integrated crop-livestock system in tropical Brazil: Toward a sustainable production system. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 190, p. 70-79, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2013.09.023>

Santos, H. G.; Tito, J. P. K.; Anjos, L. H. C.; Oliveira, V. A.; Lumbreras, J. F. Coelho, M. R.; Almeida, J. A.; Araujo Filho, J. C. Oliveira, J. B.; Cunha, T. J. F. 2018. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. *Embrapa solos*, Brasília, DF.

Sarto, M. V. M.; Borges, W. L. B.; Sarto, J. R. W.; Pires, C. A. B.; Rice, C. W.; Rosolem, C. A. 2020. Soil microbial community and activity in a tropical integrated crop-livestock System. *Applied Soil Ecology*, v. 145, doi: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.08.012>

Silva, A. R.; Sales, A.; Veloso, C. A. C. 2016. Atributos físicos e disponibilidade de carbono do solo em sistemas de integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), Homogêneo e Santa Fé, no estado do Pará, Brasil. *AGROTEC*, p. 96-104.

Silva, C. M. 2019. A face infértil do Brasil: ciência, recursos hídricos e o debate sobre (in)fertilidade dos solos do cerrado brasileiro, 1892-1942. *História, Ciências, Saúde – Manguinhos*, v. 26, n. 2, p.483-500.

- Silva, I.F.; Mielniczuk, J. 1998. Sistemas de cultivo e características do solo afetando a estabilidade de agregados. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 22, n. 2, p. 311-317.
- Siqueira, J.; Franco, A. A. 1988. Biotecnologia do solo: fundamentos e perspectivas. Ciências agrárias nos trópicos brasileiros. *MEC-ESAL-FAEPE-ABEAS*, 235 p.
- Six, J.; Bossuyt, H.; Degryze, S.; Denef, K. 2004. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil & Tillage Research*, v. 79, p. 7-31.
- Souza, E. D. de; Costa, S.E.V.G. de A.; Anghinoni, I.; Carvalho, P.C. de F.; Oliveira, E.V.F. de; Martins, A.P.; Cao, E.; Andrighetti, M. 2010. Soil aggregation in a crop-livestock integration system under no-tillage. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 34, p. 1362-1374.
- Thurman, E. M. 1985. Aquatic Humic Substances. In: Thurman, E. M. *Organic Geochemistry of Natural Waters*. [S.l.]: Springer Netherlands, p. 273-362, doi:10.1007/978-94-009-5095-5
- Torres, J. L. R.; Rodrigues Junior; D. J.; Sene, G. A.; Jaime, D. G.; Vieira, D. M. S. 2012. Resistência à penetração em área de pastagem de capim-tifton, influenciada pelo pisoteio e irrigação. *Bioscience Journal*, v. 28, n. 1, p.232-239.
- Ukalska-Jaruga, A.; Debaene, G.; Smreczak, B. 2018. Particle and structure characterization of fulvic acids from agricultural soils. *Journal of Soils and Sediments*, doi: <https://doi.org/10.1007/s11368-018-2008-1>
- Vezzani, F. M.; Mielniczuk, J. 2011. Agregação e Estoque De Carbono Em Argissolo Submetido a Diferentes Práticas De Manejo agrícola. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 35, p. 213-223.
- Vezzani, F.M.; Mielniczuk, J. 2009. Uma visão sobre qualidade do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 33, p. 743-755.
- Vilela, L.; Junior, G. B. M.; Macedo, M. C. M.; Marchão, R. L.; Júnior, R. G.; Pulrolnik, K.; Maciel, G. A. 2011. Integrated crop-livestock systems in the Cerrado region. *Pesquisa agropecuária brasileira*, v. 46 n. 10, doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000003>
- Weber, J.; Chen, Y.; Jamroz, E.; Miano, T. 2018. Preface: humic substances in the environment. *Journal of Soils and Sediments*, v. 18, p. 2665–2667, doi: <https://doi.org/10.1007/s11368-018-2052-x>
- Wendling, B.; Vinhal-Freitas, I. C.; Oliveira, R. C.; Babata, M. M.; Borges, E. N. 2012. Densidade, agregação e porosidade do solo em áreas de conversão do cerrado em floresta de pinus, pastagem e plantio direto. *Bioscience Journal*, v. 28, n 1.
- Wilson, J. R. 1998. Influence of planting four tree species on the yield and soil water status of green panic pasture in subhumid south-east Queensland. *Tropical Grassland*, v. 32, p. 209-220.
- Yan, P.; Wu, L.; Wang, D.; Fu, J.; Shen, C.; Li, X.; Zhang, L. Zhang, L.; Fan, L.; Wenyan, H. 2020. Soil acidification in Chinese tea plantations. *Science of the Total Environment*, v. 715, doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136963>
- Zhao, J.; Zeng, Z.; He, X.; Chen, H.; Wang, K. 2015. Effects of monoculture and mixed culture of grass and legume forage species on soil microbial community structure under different levels of nitrogen fertilization. *European Journal of Soil Biology*, v. 68, p. 61-68.

CAPÍTULO 11

EMISSÃO E PRODUÇÃO DE GASES DO EFEITO ESTUFA NA PECUÁRIA

Frederico Patrus Ananias de Assis Pires; Matheus Anchieta Ramirez; Lúcio Carlos Gonçalves; Alan Figueiredo de Oliveira; Rafael Araújo de Menezes; Guilherme Lobato Menezes; Pamella Grossi de Sousa; Daniel Ferreira Mello de Oliveira

RESUMO

O setor pecuário possui grande responsabilidade sobre a segurança alimentar do planeta. Esse setor também tem sido relacionado aos impactos ambientais causados pelas emissões dos gases causadores do efeito estufa (GEE), como o metano (CH₄). Contudo, sabe-se que existem diversos equívocos nesse sentido e incompreensões quanto à formação dos principais GEE no setor. Os principais GEE produzidos pelo setor pecuário são o CH₄ e o óxido nitroso (N₂O). O CH₄ entérico é produzido pelos microrganismos do domínio *Archaea*, com o uso do hidrogênio (H₂) e do gás carbônico (CO₂) e resulta em perdas de energia para o ruminante. A espécie animal, o estágio fisiológico e a composição da dieta interferem diretamente neste processo. O N₂O é produzido pelo metabolismo microbiano de utilização do nitrogênio e a principal etapa responsável por essa produção é a desnitrificação. Ressalta-se que a produção do N₂O ocorre por uma complexa interação entre as propriedades físico-químicas do solo, os microrganismos, os fatores climáticos e as práticas de manejo. Apesar da relevante participação do setor pecuário nas emissões de GEE, deve-se considerar a importância dos produtos de origem animal e o elevado potencial de mitigação. A compreensão dos processos relacionados à formação dos gases de efeito estufa é fundamental para reduzir os impactos climáticos causados pela pecuária.

INTRODUÇÃO

As projeções realizadas pela Organização das Nações Unidas (ONU, 2019) apontam que a população mundial deve atingir a marca de 10 bilhões de habitantes até o ano de 2050. Esse valor representa um aumento de 26% comparado aos atuais 7,7 bilhões. Com o crescimento populacional, também deverá aumentar a demanda por alimentos, principalmente os de elevada densidade nutricional, como os de origem animal. A maior parte do consumo adicional de alimentos será em regiões específicas (África Subsaariana e Índia), onde a população deve dobrar de tamanho nos próximos 30 anos (Organização

das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura – FAO, 2018; ONU, 2019). Nos países emergentes e desenvolvidos, também ocorrerá um aumento da demanda, porém deverá ser menos acentuado, com maior consumo de alimentos por habitante (per capita) devido ao aumento do poder aquisitivo (FAO, 2018).

No Brasil, a produção de carne deve expandir-se em 19% para atender ao forte crescimento da demanda global e regional até o ano de 2027 (FAO, 2018). O país se destaca no cenário internacional como um grande produtor de alimentos e pela força no setor agropecuário. Conforme o levantamento do Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada – CEPEA (2020), em 2019 o PIB do agronegócio brasileiro representou 21,4% do PIB total do país. O grande destaque do setor foi o ramo pecuário, que cresceu expressivos 23,71% nesse período (CEPEA, 2020). Além do constante crescimento, o país possui o maior rebanho bovino comercial do mundo, é o maior exportador de carne bovina (ABIEC, 2020) e o quinto maior produtor de leite (FAO 2019). Portanto, considera-se que a pecuária nacional tem grande responsabilidade sobre a segurança alimentar mundial.

Apesar da sua importância, a atividade pecuária é apontada como uma das causadoras de mudanças climáticas globais devido aos impactos ambientais gerados. Esses aspectos estão relacionados à emissão de gases do efeito estufa (GEE), que resultam no aquecimento do planeta em médio e em longo prazo. Entretanto, essa condição ocorre de maneira distinta no Brasil e no mundo, e existem diversos equívocos nesse sentido. Além disso, observa-se incompreensões quanto à formação dos principais GEE no setor pecuário. Objetivou-se neste capítulo discutir os principais aspectos relacionados à produção e à emissão de GEE pela pecuária.

EFEITO ESTUFA E EMISSÕES MUNDIAIS

O intenso desenvolvimento da humanidade nos últimos séculos é apontado como causador de diversos impactos ambientais relacionados com o fenômeno do aquecimento global. Estimativas do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas – IPCC (2018) e da *National Aeronautics and Space Administration* – NASA (2020) indicam que, desde o período pré-industrial, houve um aumento médio de 1,0 °C na temperatura média do planeta. Esse aquecimento é consistente, e os anos de 2014 a 2019, últimos cinco anos desses levantamentos, foram os mais quentes dos últimos 140 anos (quando se iniciou o monitoramento). Além disso, nas últimas décadas, houve um aumento na frequência de eventos extremos de calor e de estiagem com uma diminuição dos períodos de frio

(Peterson *et al.*, 2013; Oswald e Rood, 2014). Se o ritmo de elevação das temperaturas se mantiver, é provável que o aquecimento global seja de até 1,5 °C entre 2030 e 2052 (IPCC, 2018) e de até 5,8 °C no ano de 2100, em projeções com cenários menos favoráveis (IPCC, 2007).

O agravamento do aquecimento global tem como principal causa o aumento das emissões de GEE. O efeito estufa é um fenômeno natural, responsável por manter as temperaturas médias do planeta em faixas adequadas ao desenvolvimento da vida. Esse fenômeno ocorre por meio da interação atmosférica com a energia solar infravermelha irradiada ao planeta (Schneider, 1989). Essa energia, quando chega à superfície, pode ser absorvida ou refletida diretamente de volta ao espaço. Porém, parte da energia refletida é bloqueada pela presença dos GEE na atmosfera. Esses gases são opacos à radiação terrestre, pois essa radiação apresenta maiores comprimentos de onda em relação à energia irradiada diretamente pelo sol. Portanto, todo o processo resulta em retenção de calor no planeta. Nesse sentido, se não houvesse a presença dos GEE na atmosfera, a temperatura média do planeta seria muito abaixo da atual (14 °C), na ordem de -18°C.

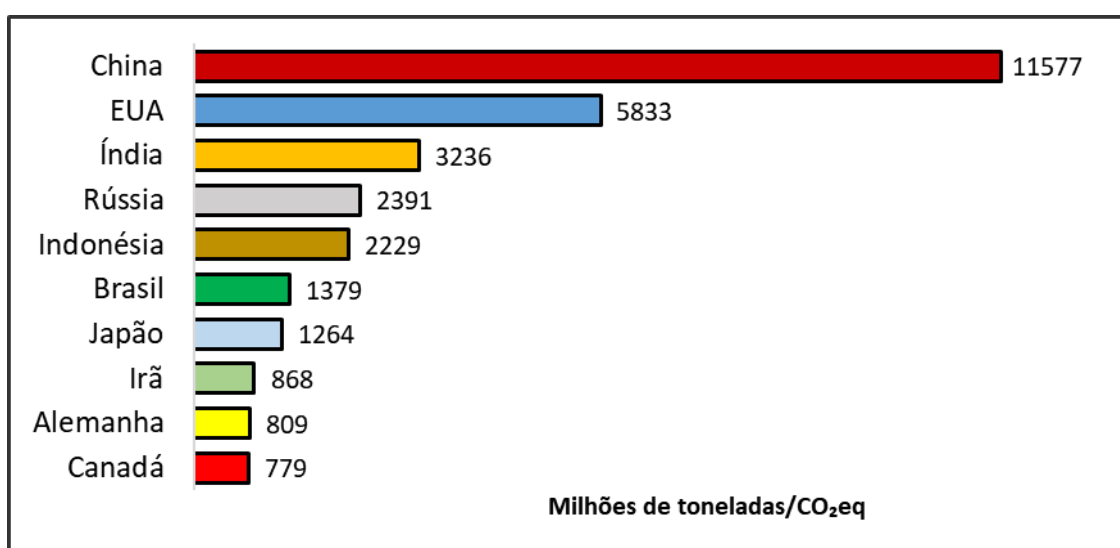
Os principais GEE são o gás carbônico (CO₂), o óxido nitroso (N₂O) e o metano (CH₄). Outros gases como os clorofluorcarbonetos (CFCs), os hidrofluorcarbonetos (HFCs), os perfluorcarbonetos (PFCs) e o hexafluoreto de enxofre (SF₆) também são classificados como GEE, porém apresentam baixas participações nas emissões mundiais (IPCC, 2019). O CO₂ é o gás de referência utilizado para quantificar as emissões e, para fins de comparação, todos os outros GEE são convertidos em equivalentes de CO₂ (CO₂ eq.). O metano é 21 vezes mais potente do que o CO₂ como potencial causador do aquecimento global e o N₂O, 265 vezes (IPCC, 2019).

Um pequeno número de países contribui com a maior parte das emissões mundiais de GEE. Calcula-se que os 10 maiores emissores respondam por mais de 68% da produção global anual de CO₂ eq. (UNFCCC, 2017). Esses 10 países são importantes para a economia do planeta e, juntos, representam mais de 50% da população global e quase 60% do PIB mundial. A China é o maior produtor de CO₂ eq., com 26% das emissões, seguida pelos Estados Unidos (13%) e pela Índia (6,7%). O Brasil é o sexto maior emissor e é responsável por 3,1% das emissões mundiais de GEE (Figura 1).

Para maior precisão de comparação dos impactos causados por cada país, utilizam-se os dados de emissões por pessoa (per capita). Geralmente, os 10 maiores emissores apresentam emissões por pessoa maiores do que a média mundial, (cerca de 6,8 tCO₂ eq. por pessoa) (UNFCCC, 2017). Entre esses países, os EUA apresentam as

maiores emissões per capita, com 22 tCO₂ eq., seguidos pelo Canadá, com 18 tCO₂ eq. por pessoa. A Índia é uma exceção nesse contexto, uma vez que possui o menor nível de emissão per capita do planeta, com 2,4 tCO₂ eq. por pessoa. Além disso, alguns países com pequenas emissões totais apresentam elevadas emissões per capita, muitas vezes superiores a países presentes na lista dos 10 maiores. Esse aspecto ocorre em nações menos populosas, porém economicamente desenvolvidas, como o Qatar (34,8 tCO₂ eq./pessoa) e a Austrália (21,5 tCO₂ eq./pessoa). No Brasil, as emissões per capita estão acima da média mundial e correspondem a 9,3 tCO₂ eq. (SEEG, 2019).

Figura 1. Emissões por países em milhões de toneladas de CO₂ eq. em 2016



Fonte: Adaptado de UNFCCC, 2017 e PIK, 2017.

A política climática internacional das Nações Unidas desenvolve ações para limitar o avanço do aquecimento global. Nesse sentido, em 2015, houve a 21ª Conferência das Partes da Convenção – Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima para adoção do Acordo de Paris. Nessa conferência, foi apresentado o Acordo de Paris (UNFCCC, 2015), que, até no ano de 2017, havia sido assinado por 195 países. Esse acordo consiste em diversos objetivos a serem atingidos pelas nações para evitar que o aquecimento global chegue aos 2 °C no final do século, com uma meta ideal de 1,5 °C.

Após o Acordo de Paris, diversas projeções foram realizadas com o objetivo de quantificar os impactos globais dos aumentos de 1,5 °C ou 2 °C na temperatura média da Terra em relação ao período pré-industrial. Os principais impactos apontados são: aumento dos episódios de ondas de calor extremas, maior ocorrência de chuvas intensas, aumento dos eventos de estiagem ou irregularidade pluviométrica e aumentos no nível do

mar (IPCC, 2018). Segundo Selten *et al.* (2020), projeções com aumentos da temperatura em longo prazo, maiores ou iguais a 2 °C, possuem grande impacto potencial sobre a saúde, a agricultura e a gestão da água mundial. Além disso, em países de clima temperado, os impactos negativos, como mortalidade por ondas de calor e a disseminação de doenças, serão intensificados e mais frequentes nos períodos de verão (Patz *et al.*, 2005; Egan e Mullin, 2016).

No Brasil central, o aumento das temperaturas médias deve ter grande impacto no setor agropecuário. O principal deles é o aumento da frequência e da intensidade dos episódios de estiagem (IPCC, 2018). Na pecuária, essa condição deve aumentar a sazonalidade da produção forrageira (Pezzopane, 2019), o que pode reduzir os índices zootécnicos e aumentar os custos de produção. Apesar de ser diretamente atingido, esse setor também contribui para o processo de aquecimento global pelas elevadas emissões de GEE. De acordo com Gerber *et al.* (2013), o setor pecuário mundial é responsável por 14,5% das emissões totais de CO₂ eq..

EMISSÕES NO SETOR PECUÁRIO

Os impactos climáticos das atividades pecuárias têm incentivado a população a reduzir o consumo de produtos de origem animal como forma de diminuir as emissões globais de GEE. Entretanto, os produtos de origem animal são reconhecidos pela importância para a saúde humana (Naik *et al.*, 2013; Potdar *et al.*, 2014; Green *et al.*, 2017; Lemoine *et al.*, 2020) e pela elevada concentração de macro e micronutrientes (Naik *et al.*, 2013). Desse modo, ao comparar diferentes alimentos quanto aos impactos ambientais gerados, é importante considerar a capacidade que cada um possui de suprir a demanda nutricional humana.

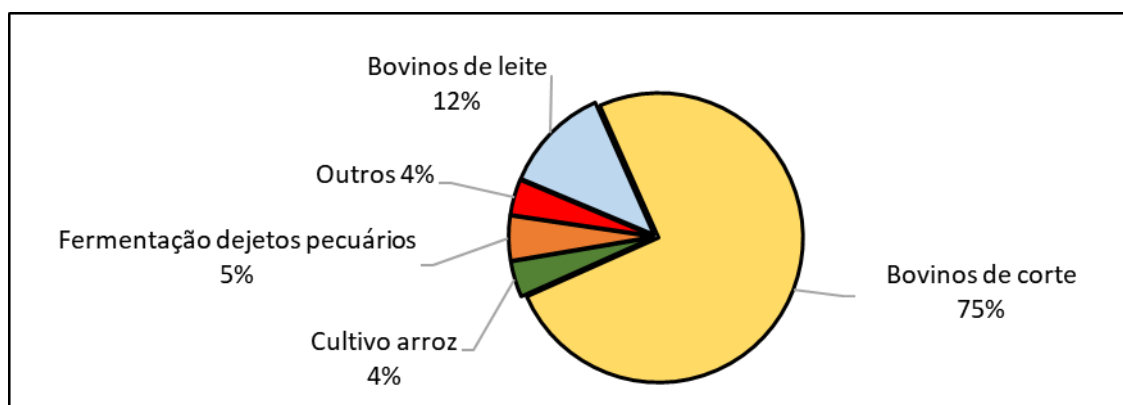
Smedman *et al.* (2010) compararam as emissões de GEE geradas para a produção de leite em relação a outras bebidas, como: refrigerantes, suco de laranja, cerveja, vinho, água mineral gasosa e bebidas de soja e de aveia. O leite apresentou maior emissão absoluta de CO₂ eq. para produção de cada unidade do produto, porém apresentou maior densidade de nutrientes em relação às emissões de GEE entre os itens comparados. Ou seja, o elevado valor nutricional do leite determinou uma menor emissão por unidade de nutriente disponível. Com o uso dessa medida, as emissões para a produção de leite foram duas vezes menores do que para a bebida de soja, por exemplo. Esses resultados constituem importantes argumentos contra barreiras criadas contra os produtos de origem

animal e que podem, eventualmente, prejudicar a pecuária nacional (Machado *et al.*, 2011).

A diversidade de alimentos produzidos pela pecuária é grande devido ao elevado número de espécies de animais contidas nesse setor. Para comparar os impactos ambientais gerados por espécie, a FAO (2017) realizou estimativas das emissões de CO₂ eq. por kg de proteína produzida pelos principais produtos pecuários. A carne de búfalo tem maior intensidade de emissão (kg de CO₂ eq./kg de proteína), com uma média de 404 kg de CO₂ eq./kg de proteína, seguida da carne bovina, com uma média de 295 kg de CO₂ eq./kg de proteína. Logo depois, estão a carne e o leite de pequenos ruminantes e o leite de búfala, com valores intermediários de CO₂ eq./kg de proteína. O leite de vaca, a carne de frango, os ovos e a carne de porco apresentam baixas intensidades de emissão, com menos de 100 kg de CO₂ eq./kg de proteína. Portanto, observa-se que os ruminantes são importantes emissores e que há grandes diferenças nas intensidades de emissão, conforme o produto formado. Apesar dos números elevados, considera-se que esse grupo é o que possui maior potencial de mitigação (FAO, 2017).

O principal gás do efeito estufa emitido pelos ruminantes é o CH₄. Cerca de 90% desse gás é produzido no rúmen (metano entérico) pela fermentação anaeróbica dos alimentos e representa 87% do total de CH₄ que é emitido pelas atividades agropecuárias no país. Esse valor corresponde ao somatório emitido pela bovinocultura de corte (75%) e pela bovinocultura leiteira (12%). Os 13% restantes são produzidos pela fermentação anaeróbica da matéria orgânica da produção de arroz em terrenos alagados e de dejetos de outros subsetores da pecuária (Figura 2) (MCTIC, 2017).

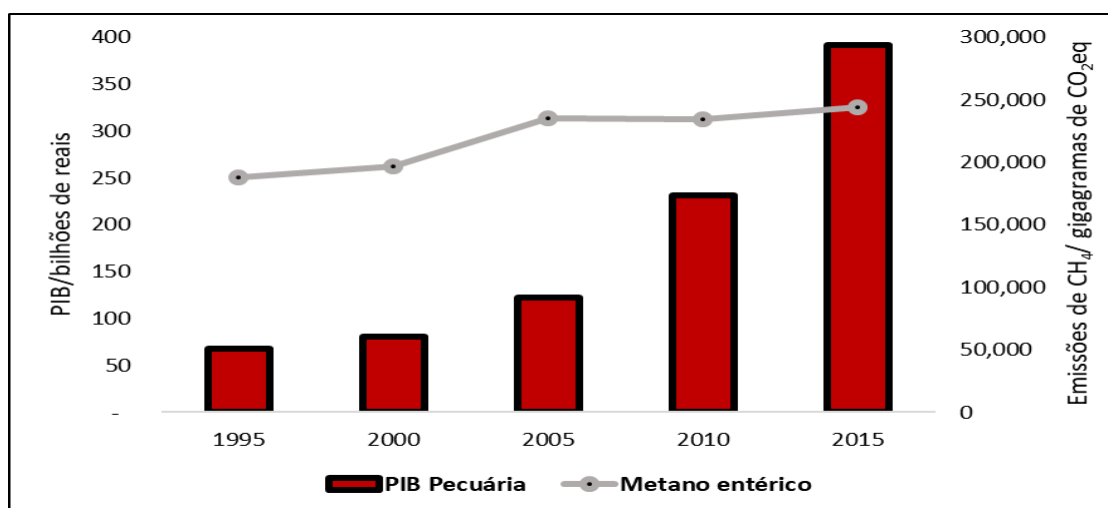
Figura 2. Proporção das emissões de CH₄ pelos subsetores da agropecuária brasileira



Fonte: Adaptado de MCTIC (2017).

Entre os anos 1995 e 2015, a emissão de CH₄ entérico aumentou em 30% no país (MCTIC, 2017). Nesse período, foram observadas taxas de crescimento similares no rebanho bovino nacional, com 33% de aumento (de 161 milhões para 214 milhões de cabeças) (IBGE, 2018). Entretanto, o PIB do ramo pecuário teve um comportamento distinto. O crescimento desse indicador ocorreu em um ritmo mais acelerado e aumentou em quase seis vezes (477%) nesse período, com um aumento total de R\$ 324 bilhões no faturamento médio anual (CEPEA, 2020). Além disso, nos anos seguintes, o faturamento da atividade continuou em franco crescimento e chegou a R\$ 494,7 bilhões em 2019 (CEPEA, 2020). Já o rebanho bovino nacional manteve-se estável, com cerca de 214 milhões de cabeças em 2019 (ABIEC, 2020). Essa diferença de crescimento entre o PIB da pecuária e as emissões totais de CH₄ entérico pode ser visualizada na Figura 3.

Figura 3. Emissão de CH₄ entérico em gigagramas* de CO₂ eq. e PIB da pecuária em bilhões de reais entre os anos 1995 e 2015

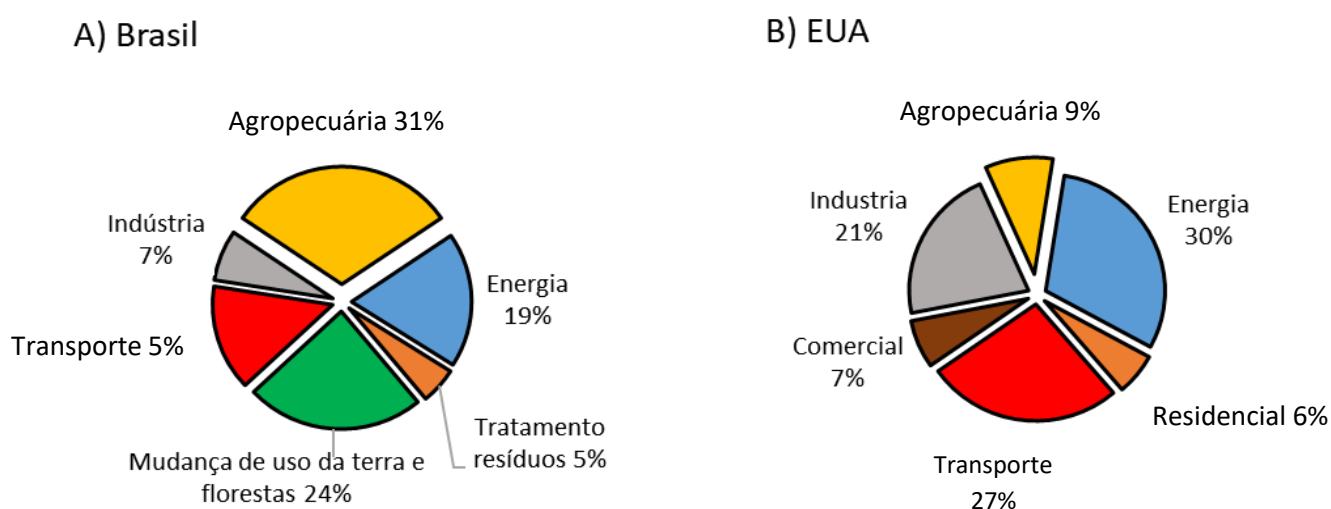


* 1 gigagrama corresponde a 1000 toneladas. Fonte: Adaptado de CEPEA (2020) e MCTIC (2017).

Essas informações, analisadas em conjunto, demonstram que é possível aumentar a produtividade com menor produção relativa de GEE e evidenciam o aumento da eficiência dos sistemas produtivos nacionais (Almeida *et al.*, 2018). Diversos estudos ressaltam a maior eficiência produtiva como uma importante estratégia para a redução dos impactos climáticos produzidos pela pecuária (Cardoso *et al.*, 2016). O principal resultado do aumento da eficiência produtiva é a redução da intensidade de emissão de CH₄ (FAO, 2020).

Aproximadamente 14,1% do total de CO₂ eq. emitidos no país referem-se ao CH₄ produzido pela fermentação entérica dos bovinos (calculados com dados do MCTIC, 2017) (57% do total emitido pelo setor agropecuário). Esses valores são diferentes da média global e dos observados em outros países. Mundialmente, as emissões de CH₄ entérico pelos bovinos representam 5,7% do total de CO₂ eq. emitidos (Gerber *et al.*, 2013) e, nos EUA, correspondem a 2,5% (U.S. Environmental Protection Agency - Usepa, 2017). Essa diferença proporcional deve-se à maior participação relativa de outros setores no somatório total de emissões nacionais. No Brasil, o setor agropecuário tem maior participação nas atividades econômicas, e a maior parte da produção de energia é renovável. Além disso, em comparação direta com os EUA, no Brasil os setores industriais e de transportes apresentam menor relevância na produção total de GEE (MCTIC, 2017) (Figura 4). É importante ressaltar que alguns itens que foram quantificados no setor de energia no levantamento brasileiro (MCTIC, 2017) foram considerados como parte do setor industrial no levantamento norte-americano (Usepa, 2017). Contudo, esse fato não prejudica a visualização da diferença proporcional das emissões por setor da economia, conforme mostrado na Figura 4.

Figura 4. Participação nas emissões líquidas por setor da economia no Brasil (A) e nos EUA (B)



Fonte: Adaptado de MCTIC (2017) e Usepa (2017).

Apesar dessa diferença, quando se comparam as emissões totais pelo setor agropecuário, os números norte-americanos são 45% maiores que os brasileiros (calculados com dados de Usepa, 2017 e PIK, 2017). Contudo, no Brasil ainda ocorre maior emissão quantitativa de GEE/kg de produto (IPCC, 2019), levando-se em consideração apenas os bovinos. Esse aspecto é atribuído aos baixos índices zootécnicos e à menor eficiência dos sistemas produtivos nacionais, apesar da evolução observada nas últimas décadas.

O segundo gás com maiores níveis de emissão pelas atividades agropecuárias é o N_2O , e corresponde a 36% das emissões totais pelo setor no Brasil. O N_2O é produzido principalmente em reações de desnitrificação e mineralização da matéria orgânica nos solos agrícolas (Bayer *et al.*, 2015). Por isso, mais de 90% das emissões nacionais desse gás são gerados no setor agropecuário (MCTIC, 2017).

As emissões de N_2O podem ser classificadas como diretas ou indiretas (MCTIC, 2017). As emissões diretas relacionam-se ao uso de adubos e fertilizantes e à mineralização de resíduos agrícolas da matéria orgânica nos solos. Já as emissões indiretas representam a porção de nitrogênio adicionado aos solos como fertilizantes e esterco, a qual é volatilizada como amônia (NH_3) e óxido nítrico (NO), além da fração perdida por lixiviação. Por fim, devem ser reportadas como emissões diretas e indiretas aquelas provenientes da deposição de excretas (fezes e urina) de animais em pastagens. Esse item representa 34% do total de N_2O emitido pelo setor agropecuário nacional (MCTIC, 2017). Dessa forma, a pecuária assume importante papel nas emissões de N_2O nacionais.

Os padrões proporcionais de CH_4 e N_2O emitidos no país evidenciam que a pecuária – especialmente os bovinos – representa um ponto crítico para a redução das emissões de GEE. Essa condição pode ser explicada por alguns aspectos intrínsecos dos bovinos, como sistema digestivo, forma de criação e importância para a economia nacional. Portanto, considera-se relevante caracterizar os processos digestivos e físico-químicos relacionados com a formação do metano entérico e do óxido nítrico pelos bovinos em pastagens.

FORMAÇÃO DO METANO ENTÉRICO

O metano é uma molécula orgânica do grupo dos hidrocarbonetos formada por ligações covalentes entre um átomo de carbono e quatro átomos de hidrogênio. No rúmen, esse gás é produzido pela atividade de microrganismos do domínio *Archaea* pertencentes

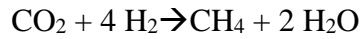
ao filo *Euryarchaeota*. Esses microrganismos possuem genoma distinto e não podem ser classificados como bactérias nem como fungos (*Eukarya*) (Budlle *et al.*, 2011; Poulsen *et al.*, 2013). A principal característica das *Archaea* metanogênicas é a presença de complexos enzimáticos específicos, especialmente o metil-coenzima M redutase (Mcr), que catalisa a etapa terminal da produção de metano (Thauer *et al.*, 2011)

Diversas linhagens distintas pertencentes ao domínio *Archaea* são encontradas no ambiente ruminal. As linhagens predominantes são as que usam o hidrogênio em seu metabolismo, e, conforme Henderson *et al.* (2015), o *Methanobrevibacter gottschalkii* e o *Methanobrevibacter ruminantium* compreendem 74% dessa comunidade metanogênica do rúmen. Esses organismos, referidos como “hidrogeniotróficos”, usam hidrogênio molecular (H_2) para reduzir o CO_2 em metano por meio do ciclo de Wolfe (Thauer, 2012). Porém, pode haver variações proporcionais na composição das comunidades metanogênicas de acordo com a dieta e a espécie do ruminante hospedeiro (Hook *et al.*, 2010). Além disso, existem linhagens que usam formato, acetato, compostos de metila e etanol como substratos para obtenção de energia no rúmen, mas geralmente usam o H_2 em conjunto (Lambie *et al.*, 2015; Li *et al.*, 2016).

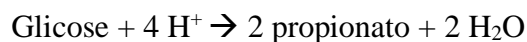
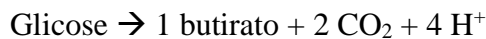
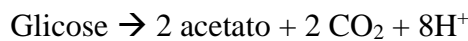
A atividade metanogênica leva à perda de energia pelos animais, variando de 2 a 12% do total consumido (Johnson e Johnson, 1995). Esses valores correlacionam-se com a digestibilidade do alimento ingerido, em que quanto maior a digestibilidade, menor a perda de energia (Benouda *et al.*, 2019). Além disso, a espécie animal, o estágio fisiológico e a composição da dieta também interferem nesses valores (Pedreira *et al.*, 2009).

Apesar de a perda de energia representar um custo para o pecuarista e para o meio ambiente, a metanogênese é importante para os ruminates. Essa condição é responsável pela remoção contínua de H_2 do ambiente ruminal, visto que os microrganismos do grupo *Archaea* usam esse gás como fonte de energia (Hungate, 1966). Menores concentrações de H_2 possibilitam que os sistemas enzimáticos relacionados aos processos oxidativos da fermentação (reoxidação de cofatores reduzidos via enzimas desidrogenases) funcionem adequadamente. Portanto, a atividade metanogênica possibilita uma atividade microbiana eficiente no rúmen (Wolin, 1979).

A reação química simplificada que representa o ciclo da formação do metano no rúmen (ciclo de Wolfe, Thauer, 2012) envolve a captação de uma molécula de CO_2 e quatro de H_2 :



Assim, considera-se a manipulação da produção de H_2 no rúmen como o ponto-chave para controlar a emissão de metano (Joblin, 1999). A liberação desse gás é determinada pelas concentrações e pelas proporções relativas de acetato, propionato e butirato (ácidos graxos voláteis – AGVs) formados no rúmen (Owens e Goetsch, 1988). A produção desses AGVs é alterada pelo tipo de nutriente usado como substrato fermentativo. A fermentação dos carboidratos fibrosos (FDN), como a celulose e as hemiceluloses, resulta em maiores proporções de acetato, butirato e H_2 , o que favorece a atividade metanogênica. Por outro lado, a fermentação dos carboidratos não fibrosos (CNFs), como o amido, resulta em maior produção relativa de propionato. A fermentação propiônica ocorre por uma via competitiva de utilização de H_2 , conforme a equação simplificada demonstrada por Van Soest (1994):



Portanto, a composição da dieta interfere diretamente na disponibilidade de substrato (H_2) para a atividade metanogênica. Além da influência direta sobre o perfil de AGVs formados, a dieta pode interferir na atividade das *Archaea* metanogênicas indiretamente. Essa situação ocorre, por exemplo, quando se utiliza uma elevada proporção de CNFs, cujo processo fermentativo resulta em grande quantidade de ácidos (AGVs e lactato) produzidos em um curto período de tempo. Tal condição reduz a atividade das metanogênicas, pois esse grupo reduz o seu metabolismo e a sua multiplicação quando há redução do pH ruminal.

A forma física (tamanho de partícula) e a digestibilidade total dos alimentos também podem alterar a produção de CH_4 entérico. Esses aspectos estão relacionados ao aumento da taxa de passagem dos alimentos pelo rúmen. Geralmente, quanto maior a taxa de passagem, menor a produção de metano. Essa relação ocorre porque grande parte das *Archaea* metanogênicas encontram-se aderidas às partículas de alimentos ou aos protozoários ciliados. Assim, quando a taxa de renovação do conteúdo é elevada, uma maior proporção desses microrganismos é também levada para os outros compartimentos do sistema digestivo. Além disso, esses microrganismos possuem baixa velocidade de

multiplicação em relação aos demais microrganismos ruminais e não conseguem compensar as perdas pela renovação do conteúdo. Logo, o balanço final da população dos microrganismos metanogênicos no rúmen fica desfavorável (Machado *et al.*, 2011).

Dietas com elevada digestibilidade podem aumentar o nível de consumo de matéria seca (CMS) e também a produção total de CH₄. Esse processo ocorre devido à maior quantidade e extensão de fermentação dos alimentos no rúmen (Liu *et al.*, 2017). Conforme Moorby *et al.* (2015), o consumo de matéria seca tem correlação alta e positiva com a produção de metano entérico. Porém, os incrementos no desempenho dos animais reduzem a proporção de CH₄ emitido por unidade de produto (carne ou leite). Esse aspecto será aprofundado no capítulo “Estratégias de mitigação da produção de gases do efeito estufa e os sistemas de integração”.

Aproximadamente 30% das *Archaea* metanogênicas encontram-se aderidas à superfície dos protozoários ciliados, numa relação de simbiose, a qual é referida como transferência de H₂ interespecífica, em que o H₂ produzido pelo metabolismo final dos protozoários é aproveitado como fonte de energia pelas *Archaea* metanogênicas. Tal relação colabora para o bom funcionamento dos sistemas enzimáticos dos protozoários (Morgavi *et al.*, 2010). Dessa forma, uma possível estratégia para reduzir a produção de CH₄ entérico consiste em diminuir a população dos protozoários (Nguyen *et al.*, 2016). Porém, essa estratégia, assim como outros métodos que diminuem diretamente a população das *Archaea* metanogênicas, pode ser prejudicial ao processo fermentativo ruminal, devido ao acúmulo de H₂ no rúmen. Elevadas concentrações de H₂ reduzem a atividade microbiana, principalmente das bactérias fibrolíticas, em um mecanismo de autorregulação para reduzir a produção desse gás (Janssen, 2010). Portanto, os métodos que diminuem a população das *Archaea* devem buscar outras formas de remover o H₂ produzido no rúmen.

A redução da disponibilidade de H₂ no rúmen também pode ocorrer pela estimulação de vias que utilizam esse gás para produtos alternativos. Embora estudos adicionais sejam necessários, existem evidências crescentes de que o redirecionamento do fluxo de H₂ pode favorecer a produção animal, com a recuperação de energia que, de outra forma, seria perdida pelas emissões de metano (Henderson *et al.*, 2018). A maioria das atenções se concentrou em microrganismos acetogênicos, que promovem a conversão de H₂ / CO₂ em acetato usando [FeFe]-hidrogenases (Schuchmann, 2014). Nesse sentido, a suplementação com probióticos acetogênicos tem sido estudada como

uma possível forma de reduzir a metanogênese. Entretanto, esses estudos ainda são considerados insuficientes ou inconclusivos (Pereira *et al.*, 2015).

Segundo Greenig (2019), existem evidências de que microrganismos “hidrogeniotróficos” alternativos, incluindo bactérias acetogênicas e respiratórias, podem prosperar no rúmen e competir efetivamente com os essencialmente metanogênicos pelo H_2 . Esses autores demonstraram que dois terços dos genomas presentes no microbioma do rúmen codificam enzimas que catalisam o consumo de H_2 , incluindo 26 subgrupos de hidrogenases distintos. Dessa forma, uma solução pode ser a suplementação com aceptores de elétrons, como fumarato, nitrato ou sulfato, que estimulam os microrganismos hidrogeniotróficos respiratórios dominantes. Essas abordagens mostraram bons resultados na mitigação da produção de metano *in vitro* (Asanuma *et al.*, 1999; Patra *et al.*, 2014) e em ensaios de campo (Hulshof *et al.*, 2012). Contudo, em relação ao uso do nitrato especificamente, o nitrito formado no processo de redução do nitrato até a amônia pode prejudicar a atividade microbiana no rúmen (Van Zijderveld *et al.*, 2010).

Conforme Pereira *et al.* (2015), em resumo, a redução da emissão de metano pela manipulação do metabolismo de H_2 no rúmen deve basear-se nos seguintes objetivos (usados em conjunto ou isoladamente).

1. Reduzir a produção de H_2 sem prejudicar a digestão dos alimentos.
2. Aumentar a utilização do H_2 por vias de produção de produtos alternativos.
3. Inibir as *Archaea* metanogênicas (número e/ou atividade), com estímulo concomitante de vias que consomem H_2 .

A aplicação prática de estratégias que alteram o metabolismo de H_2 ruminal será aprofundada no capítulo “Estratégias de mitigação das emissões de gases do efeito estufa e os sistemas de integração”. Nesse capítulo, outras estratégias que envolvem melhorias na eficiência produtiva dos sistemas e dos aspectos nutricionais dos animais também serão amplamente discutidas e aprofundadas.

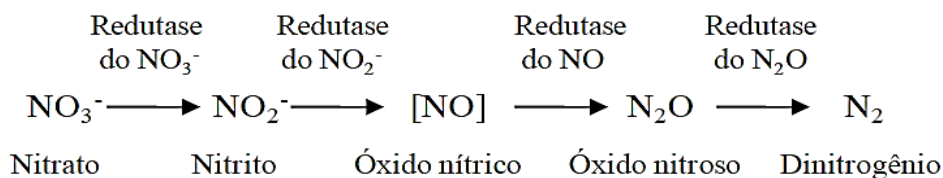
FORMAÇÃO DO ÓXIDO NITROSO

O óxido nitroso é um composto inorgânico, classificado como um óxido neutro, produzido naturalmente no meio ambiente pelo metabolismo microbiano de utilização do nitrogênio (N). Tal processo, referido como ciclo do nitrogênio, é influenciado pelas atividades humanas, principalmente as agropecuárias, e tem levado a aumentos nas

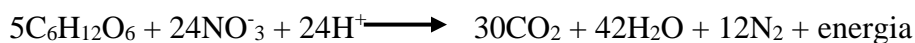
emissões anuais de N₂O para a atmosfera. Esse gás é um importante intensificador do efeito estufa, com uma meia-vida de aproximadamente 131 anos na atmosfera (Hartmann *et al.*, 2013). Além disso, o N₂O é relacionado à destruição da camada de ozônio e também à redução da eficiência da adubação nitrogenada em sistemas agropecuários. Estima-se que de 3 a 5% do N usado como fertilizante agrícola é convertido em óxido nitroso (Davidson, 2009)

Didaticamente, o ciclo do nitrogênio é dividido em seis etapas: 1- fixação e 2- amonificação: fixação de uma molécula de N₂ atmosférico como amônia (NH₃) no solo ou em ambientes alagados; 3- nitrificação: transformação da NH₃ em nitrito (HNO₂) e posteriormente em nitrato (HNO₃) 4- assimilação: transformação do HNO₃ em NH₃ e assimilação como nitrogênio orgânico (biomassa vegetal). As outras duas etapas do ciclo consistem na formação do N₂ atmosférico pelo processo de: 5- desnitrificação: conversão do HNO₃ em N₂; ou 6- oxidação anaeróbica de amônio (Anammox): formação de N₂ pela fermentação anaeróbica do HNO₂.

A principal etapa que resulta na formação do N₂O é a de desnitrificação. Essa etapa consiste em um processo que ocorre, quase sempre, na ausência de O₂. Também representa uma reação de oxirredução, na qual óxidos de nitrogênio servem como receptores finais de elétrons, e a matéria orgânica como agente oxidante (Hayatsu, 2008). Embora a desnitrificação completa resulte em perda de N nos sistemas de produção, essa etapa é considerada importante, pois é o principal processo de retorno do N do solo à atmosfera (Liu *et al.*, 2007). As etapas detalhadas da desnitrificação são resumidas conforme seguinte esquema (Milagres, 2014):



Esse processo resulta na mineralização da matéria orgânica e pode ser representado em uma única reação química, considerando-se o carbono (glicose) como fonte de energia:



Logo, o óxido nitroso é um intermediário do processo de desnitrificação, mediado por enzimas redutases. Porém, nem todo óxido nitroso produzido é totalmente reduzido

até o gás N_2 (desnitrificação incompleta). Esse processo ocorre pela incapacidade fisiológica dos microrganismos em transformar todo o NO disponível ou por fatores ambientais que suprimem a reação (Firestone *et al.*, 1980; Graf *et al.*, 2014). Com isso, a redução microbiana de NO é a principal fonte de N_2O para a atmosfera (Hallin *et al.*, 2017).

As óxido nítrico redutases (NOR) são enzimas usadas para desintoxicação ou respiração microbiana a partir do óxido nítrico e pertencem a um grupo diverso de flavoproteínas, *copper oxidases*, entre outras (Kuypers *et al.*, 2018). Essas enzimas estão presentes em diversos tipos de microrganismos, como as *Archaea* e as bactérias. As principais bactérias envolvidas no processo de desnitrificação são as do gênero *Pseudomonas*, e as espécies mais usualmente encontradas são: *Pseudomonas denitrificans*, *Pseudomonas stutzeri* e *Pseudomonas chlororaphis* (Zumft, 1997). O N_2O também pode ser formado pelo processo de oxidação da amônia por outras bactérias, a maior parte do gênero *Nitrosomonas* (Shrestha *et al.*, 2001), bem como por microrganismos do domínio *Archaea* (Ettwing *et al.*, 2016). A oxidação de amônia é um processo aeróbico de produção de energia, no qual o NH_3 é oxidado a NO_2 , e pode ocorrer durante o processo de nitrificação (Daims *et al.*, 2015). Durante a oxidação da amônia, a principal via para produção do N_2O é a redução enzimática a partir do NO_2 e do NO (“desnitrificação-nitrificador”) (Kool *et al.*, 2011; Prosser *et al.*, 2020).

As elevadas disponibilidades de N e C lábil geralmente aumentam a taxa de desnitrificação da matéria orgânica nos solos, conforme a reação demonstrada. Portanto, a fertilidade do solo, a aplicação de fertilizantes nitrogenados e a presença de resíduos vegetais correlacionam-se de maneira positiva com as emissões de N_2O (Soares *et al.*, 2015). Entretanto, a produção total de N_2O e N_2 e a razão entre $N_2O:N_2$ formados dependem de uma complexa interação entre as propriedades físico-químicas do solo, os microrganismos, os fatores climáticos e as práticas de manejo (Saggar *et al.*, 2013; Huang *et al.*, 2015). Cada um desses fatores é composto por diversas variáveis que podem sofrer influência direta pela presença dos animais nas pastagens (Tomazi *et al.*, 2015; Buller *et al.*, 2015).

Anualmente, cerca de 1,5 Tg do total de emissões antropogênicas globais de N_2O (6,7 Tg N_2O-N /ano) é emitida a partir de excrementos produzidos por animais em pastejo, por meio de emissões diretas e indiretas (de nitrogênio excretado lixiviado e volatilizado) (Taghizadeh-Toosi *et al.*, 2011). Estima-se que de 75 a 95% do N ingerido que não é aproveitado pelos bovinos é excretado na urina ou nas fezes, o que fornece um rico

substrato para as reações de nitrificação e desnitrificação no solo (Eckard *et al.*, 2010; Saggiar *et al.*, 2013).

O N urinário é, em sua maioria, constituído por ureia, formada no fígado pelo metabolismo de compostos nitrogenados originados pela absorção no sistema digestivo ou pela mobilização/renovação tecidual dos animais (Santos, 2006). Dessa forma, existe uma grande variação na concentração do N solúvel urinário, conforme estágio fisiológico, composição da dieta, presença/ausência de enfermidades e *status* metabólico dos animais. Além desses fatores, a taxa de lotação e as condições edafoclimáticas das pastagens também interferem nas quantidades de N excretadas por área. De modo geral, a produção anual de N gerado pela excreção dos bovinos em pastagens é equivalente a 500-1000 kg N/ha (Haynes *et al.*, 1993). Em alguns casos, tais valores podem chegar a mais de 1600 kg N ha⁻¹ (Chirinda *et al.*, 2019). Esses valores podem ser mais de três vezes superiores à capacidade de captação de N pelas pastagens (Haynes *et al.*, 1993), e até 6% desse N urinário depositado pode ser perdido como N₂O (IPCC, 2006).

Estudos recentes mostraram, no entanto, que as emissões de N₂O pela transformação dos excrementos bovinos são inferiores ao fator de emissão (EF) estabelecido pelo IPCC. Em uma revisão com 418 estudos, Cai e Akiyama (2017) encontraram uma EF do N₂O de 0,76% para urina e de 0,27% para esterco. Cardoso *et al.* (2019) corroboram esses resultados e encontraram EF de 0,84% para urina e de 0,28% para esterco.

As características físico-químicas do solo são determinantes no processo de emissão do N₂O pelas fezes e pela urina dos animais. Essas características podem ser intrínsecas ou causadas/agravadas pelas práticas agropecuárias. Aspectos como a textura, a drenagem (Krol, 2016) e os níveis de umidade (Cai *et al.*, 2017) possuem correlação com a formação do N₂O, em que quanto maior o teor de argila e umidade, maior a formação desse gás. Nota-se ainda que ocorre um aumento das emissões de N₂O após os eventos de chuva, especialmente em regiões de clima tropical (Bretas *et al.*, 2020). O mecanismo relacionado a esse aumento diz respeito ao preenchimento dos espaços porosos do solo com água, o que aumenta a anaerobiose e favorece as reações de desnitrificação e formação do N₂O (Smith, 2017).

Os níveis de compactação e os valores de pH dos solos são importantes fatores que interferem diretamente no metabolismo microbiano do nitrogênio, por diferentes vias. A compactação dos solos reduz a aeração e a concentração de oxigênio dissolvido com uma maior proporção de microambientes anaeróbicos ao longo do perfil do solo

(Butterbach-Bahl *et al.*, 2013). Essa condição favorece as reações de desnitrificação com maior proporção de N₂O formado (Kuypers *et al.*, 2018). Em relação ao pH, as reações de produção de N₂O são favorecidas quando os valores encontram-se abaixo de 6 (Firestone *et al.*, 1980). O mecanismo de elevação das emissões de N₂O em solos ácidos refere-se à inibição das enzimas NOR, responsáveis pela transformação do N₂O em N₂, (Robinson *et al.*, 2014). Tanto os baixos valores de pH quanto a compactação do solo reduzem as taxas de crescimento vegetal, o que restringe o processo de assimilação e deposição do N nos tecidos vegetais. Dessa forma, em solos ácidos e compactados, a capacidade de utilização do N no sistema é reduzida, com elevação das taxas de emissão do N₂O.

Solos ácidos e compactados são frequentes em pastagens degradadas e em lavouras implementadas e conduzidas com o uso de práticas agrícolas inadequadas. A degradação das pastagens interfere nas emissões de N₂O pela deposição de urina e por múltiplos mecanismos, que muitas vezes interagem, e, portanto, observam-se resultados contraditórios na literatura (Chirinda *et al.*, 2019)

Por fim, variáveis ambientais, como temperatura do ar e do solo, bioma (Tully *et al.*, 2017) e estação do ano (Chirinda *et al.*, 2019), também interferem na produção de N₂O. Sabe-se que baixas temperaturas reduzem a atividade microbiana, o que determina uma menor taxa de transformação do N pelos processos de nitrificação e desnitrificação no solo (Bell *et al.*, 2015). Esses processos podem ocorrer na faixa entre 0 °C e 32 °C, porém a faixa ótima é de 32 °C a 40 °C para a desnitrificação (Henze, 1995) e superior a 25 °C para a oxidação aeróbia da amônia (Pambrun *et al.*, 2006).

Ressalta-se que diversos estudos demonstraram que é possível reduzir as emissões de N₂O nos sistemas produtivos, com o uso de práticas que aumentam a eficiência do uso das pastagens e do desempenho animal (Sato *et al.*, 2017; Congio, 2019).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A proporção de gases do efeito estufa emitidos no país evidencia a participação do setor pecuário – especialmente dos bovinos – no processo de intensificação do efeito estufa. Contudo, deve-se considerar o potencial de redução dos impactos provocados e a relevância desse setor na economia nacional e na produção de alimentos essenciais para a humanidade.

A formação do metano entérico e do óxido nitroso nos sistemas de produção ocorre por processos complexos e pela interação entre microrganismos, animais e

ambiente. A compreensão desses processos é fundamental para a aplicação de estratégias consistentes de redução dos impactos climáticos causados pela pecuária.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, M. M. T. B.; Lixa, A. T.; De Oliveira, O. C. et al. Para Onde Vai a Pecuária Bovina Brasileira? In Anais do 56 Congresso SOBER - Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural, Campinas – SP, 2018
- Asanuma, N.; Iwamoto, M.; Hino, T. Effect of the addition of fumarate on methane production by ruminal microorganisms in vitro. *Journal of Dairy Science*, v. 82, n.4, p. 780–787, 1999.
- Associação Brasileira Das Indústrias Exportadoras De Carne (Abiec). Perfil da Pecuária no Brasil: Relatório anual 2020. São Paulo, 2020. 49p.
- Bayer, C.; Gomes, J.; Zanatta, J. A.; et al. Soil nitrous oxide emissions as affected by long-term tillage, cropping systems and nitrogen fertilization in Southern Brazil. *Soil and Tillage Research*, v. 146, p. 213-222, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2014.10.011>
- Bell, M. J. et al. Nitrous oxide emissions from cattle excreta applied to a Scottish grassland: effects of soil and climate conditions and a nitrification inhibitor. *Science of the Total Environment*, v. 508, p. 343–353, 2015.
- Benaouda, M. et al. Evaluation of the performance of existing mathematical models predicting enteric methane emissions from ruminants: Animal categories and dietary mitigation strategies. *Animal Feed Science and Technology*, v. 255, n. 114207, 2019.
- Brasil. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. *Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa*. 4. ed. Brasília, DF, 2017. Disponível em: <http://sirene.MCTIC.gov.br/documents/1686653/1706227/4ed_ESTIMATIVAS_ANUAIS_WEB.pdf/a4376a93-c80e-4d9f-9ad2-1033649f9f93>. Acesso em: 04 ABR. 2020.
- Bretas, I. L. et al. Nitrous oxide, methane, and ammonia emissions from cattle excreta on *Brachiaria decumbens* growing in monoculture or silvopasture with *Acacia mangium* and *Eucalyptus grandis*. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 295, n. 106896, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.106896>
- Buddle, B. M. et al. Strategies to reduce methane emissions from farmed ruminants grazing on pasture. *Veterinary Journal*, v. 188, p. 11-17, 2011.
- Buller, L. S.; Bergier, I.; Ortega, E. et al. Soil improvement and mitigation of greenhouse gas emissions for integrated crop–livestock systems: Case study assessment in the Pantanal savanna highland, Brazil. *Agricultural Systems*, v. 137, p. 206-219, 2015.
- Butterbach-Bahl, K.; Baggs, E. M.; Dannenmann, M. et al. Nitrous oxide emissions from soils: how well do we understand the processes and their controls? *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, v. 368 n. 20130122, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1098/rstb.2013.0122>
- Cai, Y. E Akiyama, H. Effects of inhibitors and biochar on nitrous oxide emissions nitrate leaching, and plant nitrogen uptake from urine patches of grazing animals on grasslands: a meta-analysis. *Soil Science and Plant Nutrition*, v. 63, n. 4, p. 405-414, 2017. DOI:10.1080/00380768.2017.1367627
- Cai, Y., Chang, S. X. E Cheng, Y. Greenhouse gas emissions from excreta patches of grazing animals and their mitigation strategies. *Earth-Science Reviews*, v. 171, p. 44–57, 2017.
- Cardoso, A. S. et al. Impact of the intensification of beef production in Brazil on greenhouse gas emissions and land use. *Agricultural Systems*, v. 143, p. 86–96, 2016.

Cardoso, A. S.; Oliveira, S. C. E Januskiewicz, E. R. Seasonal effects on ammonia, nitrous oxide, and methane emissions for beef cattle excreta and urea fertilizer applied to a tropical pasture. *Soil and Tillage Research*, v. 194, n. 104341, 2019

Centro De Estudos Avançados Em Economia Aplicada (Cepea). *PIB Do Agronegócio Cresce 3,81% Em 2019*. Piracicaba, SP: [s. n.], 2020. 18p.

Chirinda, N. *et al.* Adequate vegetative cover decreases nitrous oxide emissions from cattle urine deposited in grazed pastures under rainy season conditions. *Scientific Reports*, v. 9, n 908, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-37453-2>

Congio, G. F. S.; Chiavegato, M. B.; Batalha, C. D. A. Strategic grazing management and nitrous oxide fluxes from pasture soils in tropical dairy systems. *Science of The Total Environment*, v. 676 p. 493-500, 2019

Daims, H.; Lebedeva, E.; Pjevac, P. *et al.* Complete nitrification by *Nitrospira* bacteria. *Nature*, v. 528, p. 504–509, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1038/nature16461>

Davidson, E. A. The contribution of manure and fertilizer nitrogen to atmospheric nitrous oxide since 1860. *Nature Geoscience*, v. 2, p. 659–662, 2009.

Eckard, R. J.; Grainger, C.; De Klein, C. A. M. Options for the abatement of methane and nitrous oxide from ruminant production: A review. *Livestock Science*, v. 130, p. 47–56, 2010.

Egan, P. J.; Mullin, M. Recent improvement and projected worsening of weather in the United States. *Nature*, v. 532, p. 357–360, 2016.

Ettwig, K. F. *et al.* Archaea catalyze iron-dependent anaerobic oxidation of methane. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 113, p. 12792–12796, 2016.

FAO. Global Livestock Environmental Assessment Model (GLEAM). Rome, 2017. Disponível em: <www.fao.org/gleam/en/>. Acesso em: 23 mar. 2020.

Food And Agriculture Organization Of The United Nations (FAO). *Dairy Market Review*, Roma: [s. n.], 2019. 11p.

Gerber, *et al.* *Tackling climate change through livestock: a global assessment of emissions and mitigation opportunities*, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, 2013.

Graf, D. R. H. *et al.* Intergenomic comparisons high light modularity of the denitrification pathway and under pin the importance of community structure for N₂O emissions. *PLoS One*, v. 9, n. 114118, 2014.

Green, R., Allen, L., Bjørke-Monsen, A. *et al.* Vitamin B₁₂ deficiency. *Nature Reviews Disease Primers*, v. 3, n. 17040, 2017. <https://doi.org/10.1038/nrdp.2017.40>

Greening, C.; Geier, R.; Wang, C. *et al.* Diverse hydrogen production and consumption pathways influence methane production in ruminants. *ISME J.* v. 13, p. 2617–2632, 2019. <https://doi.org/10.1038/s41396-019-0464-2>

Johannes, G. *et al.* The primap-hist national historical emissions time series (1850-2014). *GFZ Data Services*, v. 1, n. 1, 2017. DOI: <http://doi.org/10.5880/PIK.2017.001>.

Hartmann D. L.; Klein Tank, A. M. G.; Rusticucci, M. *et al.* Climate Change 2013 the Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *Cambridge University Press*, v. 9781107057999, p. 159-254. 2013.

- Hayatsu, M.; Tago, K.; Saito, M. Various players in the nitrogen cycle: Diversity and functions of the microorganisms involved in nitrification and denitrification. *Soil science and Plant Nutrition*, v. 54, p. 33-45, 2008.
- Haynes, R. J.; Williams, P. H. Nutrient cycling and soil fertility in the grazed pasture ecosystem. *Advances in Agronomy*, v. 49, p. 119–199, 1993.
- Henderson, G.; Cook, G. M.; Ronimus, R. S. Enzyme and gene based approaches for developing methanogen specific compounds to control ruminant methane emissions: a review. *Animal Production Science*, v. 58, n. 6, p. 1017-1026, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1071/AN15757>
- Henderson, G.; Cox, F.; Ganesh, S. *et al.* Rumen microbial community composition varies with diet and host, but a core microbiome is found across a wide geographical range. *Scientific Reports*, v. 5, n. 14567, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1038/srep14567>
- Henze, M.; Gujer, W.; Mino, T. *et al.* Activated sludgemodel. *IAWQ Scientific and Technical Report*, n. 3, Londres, 1995.
- Hook, S.E.; Wright, A. D. G.; McBride, B. W. Methanogens: methane producers of the rumen and mitigation strategies. *Archaea*, v. 2010, p.1-11, 2010.
- Huang, Y.; Gerber, S. Global soil nitrous oxide emissions in a dynamic carbon-nitrogen model. *Biogeosciences*, v. 12, p. 6405–6427, 2015.
- Hulshof, R. B. A; Berndt, A.; Gerrits, W. J. J. *et al.* Dietary nitrate supplementation reduces methane emission in beef cattle fed sugarcane-based diets. *Journal of Animal Science*, v. 90, p. 2317–2323, 2012.
- Hungate, R. E. The Rumen and its Microbes. *Academic Press*, New York, NY. 1966.
- IBGE – Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística. Pesquisa Da Pecuária Municipal. *Brasil, Grandes Regiões e Unidades da Federação*. Rio de Janeiro: IBGE, 2018. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/3939> Acesso em: 05 mar. 2020.
- IPCC - Intergovernmental Panel On Climate Change. *Aquecimento Global de 1,5°C*. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2018.
- IPCC - Intergovernmental Panel On Climate Change. *Fourth Assessment Report (AR4): Mitigation of Climate Change*. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007. Disponível em: http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg3/en/contents.html. Acesso em: 30 abril. 2020.
- IPCC - Intergovernmental Panel On Climate Change. *Greenhouse Gas Inventory Reference Manual, 4. Intergovernmental Panel on Climate Change*, 2006. Guidelines for national greenhouse gas inventories, 2006 Disponível em: <http://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>
- IPCC - Intergovernmental Panel On Climate Change. *Refinement to the 2006 IPCC*. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 2019. Disponível em <https://www.ipcc.ch/report/2019-refinement-to-the-2006-ipcc-guidelines-for-national-greenhouse-gas-inventories/>. Acesso em: 25 de mar de 2020.
- Janseem, P. H. Influence of hydrogen on rumen methane formation and fermentation balances through microbial growth kinetics and fermentation thermodynamics. *Animal Feed Science and Technology*, v. 160, p. 1-22, 2010.
- Joblin, K. N. Ruminant acetogens and their potential to lower ruminant methane emissions. *Australian Journal Agricultural Research*, v. 50, n. 8, p. 1321-1327, 1999.

- Johnson, K. A.; Johnson, D. E. Methane Emissions from Cattle. *Journal of Animal Science*, v. 73, p. 2483-2492, 1995.
- Kool, D. M. *et al.* Nitrifier denitrification as a distinct and significant source of nitrous oxide from soil. *Soil Biology & Biochemistry*, v. 43, p. 174–178, 2011
- Krol, D. J. Improving and disaggregating N₂O emission factors for ruminant excreta on temperate pasture soils. *Science of the Total Environment*, v. 568, p. 327–338, 2016.
- Kuypers, M.; Marchant, H. E.; Kartal, B. The microbial nitrogen-cycling network. *Nature Reviews Microbiology*, v. 16, p. 263–276, 2018. <https://doi.org/10.1038/nrmicro.2018.9>
- Lambie S. C. *et al.* The complete genome sequence of the rumen methanogen *Methanosarcina barkeri* CM1. *Standards in Genomic Sciences*, v. 10, n. 57, 2015.
- Lemoine, A. *et al.* Case report of nutritional rickets in an infant following a vegan diet. *Archives de Pédiatrie*, v. 27, n. 4, p. 219-222, 2020.
- Li, Y. *et al.* The complete genome sequence of the methanogenic archaeon ISO4-H5 provides insights into the methylophilic lifestyle of a ruminal representative of the Methanomassiliicoccales. *Standards in Genomic Sciences*, v. 11, n. 59, 2016.
- Liu, X. J.; Mosier, A. R.; Halvorson, A. D. *et al.* Dinitrogen and N₂O emissions in arable soil: Effect of tillage, N source and soil moisture. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 39, p. 2362-2370, 2007.
- Liu, Z.; Liu, Y.; Shi, X.; Wang, J. *et al.* Enteric methane conversion factor for dairy and beef cattle: effects of feed digestibility and intake level. *Transactions of ASABE*, v.60, p.459-464, 2017. DOI: 10.13031/trans.11744.
- Machado, F. S.; Pereira, L. G. R.; Guimarães Jr. R. *et al.* Emissões de metano na pecuária: conceitos, métodos de avaliação e estratégias de mitigação. *Embrapa Gado de Leite*. Juiz de Fora - MG, 2011.
- Milagres, J. J. M. 2014. Emissões de N₂ e N₂O provenientes do fertilizante aplicado a solos cultivados com cana de açúcar pelo método do traçador 15N. Piracicaba, SP. Tese apresentada ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo para obtenção do Título de Doutor em Ciências, Universidade de São Paulo.
- Moorby, J.; Fleming, H.; Theobald, V. *et al.* Can live weight be used as a proxy for enteric methane emissions from pasture-fed sheep? *Scientific Reports*, v. 5, n. 17915, 2015. <https://doi.org/10.1038/srep17915>
- Morgavi, D. P.; Forano, E.; Martin, C.; Newbold, J. Microbial ecosystem and methanogenesis in ruminants. *Animal*, v. 4, n. 7, p. 1024-1036, 2010.
- Naik, S. *et al.* Daily milk intake improves vitamin B-12 status in young vegetarian Indians: an intervention trial. *Nutrition Journal*, v. 12, n. 136, 2013.
- National Aeronautics And Space Administration (NASA) National Oceanic And Atmospheric Administration (NOAA). *Analyses Reveal 2019 Second Warmest Year on Record*. 2020. Disponível em <https://www.nasa.gov/press-release/nasa-noaa-analyses-reveal-2019-second-warmest-year-on-record>. Acesso em 5 de maio de 2020.
- Nguyen, S. H.; Li, L.; Hegarty R. S. Effects of rumen protozoa of Brahman heifers and nitrate on fermentation and in vitro methane production. *Asian Australasian Journal of Animal Science*, v. 29, n. 6, p. 807-813, 2016.

OECD-FAO *Agricultural Outlook 2018-2027*. Roma: [s. n.], 2018. 112p.
https://doi.org/10.1787/agr_outlook-2018-en

Oswald, E. M.; Rood, R. B. A trend analysis of the 1930–2010 extreme heat events in the continental United States. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, v. 53, p. 565–582, 2014.

Owens, F. N.; Goetsch, A. L. Ruminant fermentation. In: Church, D. C. (Ed). *The ruminant animal: digestive physiology and nutrition*. Waveland Press, p.145-171, 1988.

Pambrun, V.; Paul, E.; Sperandio, M. Modelling the partial nitrification in sequencing batch reactor for biomass adapted to high ammonia concentrations *Biotechnology & Bioengineering*, v. 95, n. 1, p. 120-131, 2006.

Patra, A. K.; Yu Z. Combinations of nitrate, saponin, and sulfate additively reduce methane production by rumen cultures in vitro while not adversely affecting feed digestion, fermentation or microbial communities. *Bioresource Technology*, v. 155 p. 129–135, 2014.

Patz, J. A.; Campbell-Lendrum, D.; Holloway, T.; Foley, J. A. Impact of regional climate change on human health. *Nature*, v. 438, p. 310–317. 2005.

Pedreira, M. S. et al. Ruminant methane emission by dairy cattle in southeast Brazil. *Scientia Agricola*, v.66, p.742-750, 2009.

Pereira, L. G. R. et al. Enteric methane mitigation strategies in ruminants: a review. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, v. 28 p. 124-143, 2015.

Peterson, T. C. et al. Monitoring and understanding changes in heat waves, cold waves, floods, and droughts in the United States: state of knowledge. *Bulletin of the American Meteorological Society*, v. 94, p. 821–834, 2013.

Pezzopane, J. R. M. et al. Cenários Futuros Das Pastagens No Brasil IN Anais Do Ix Simpósio Sobre Manejo Estratégico Da Pastagem. *IX Simpósio sobre Manejo Estratégico da Pastagem e VI Simpósio Internacional Sobre Produção Animal em Pestejo*. Viçosa - MG, 2019.

Potdar, R. D. et al. Improving women's diet quality preconceptionally and during gestation: effects on birth weight and prevalence of low birth weight — a randomized controlled efficacy trial in India (Mumbai Maternal Nutrition Project). *American Journal of Clinical Nutrition*, v. 100, p. 1257–1268, 2014.

Poulsen, M.; Schwab, C.; Borg Jensen, B. et al. Methylophilic methanogenic Thermoplasmata implicated in reduced methane emissions from bovine rumen. *Nature Communications*, v. 4, n. 1428 (013), 2013. DOI <https://doi.org/10.1038/ncomms2432>

Prosser, J. I. et al. Nitrous oxide production by ammonia oxidizers: Physiological diversity, niche differentiation and potential mitigation strategies. *Global Change Biology*, v. 26: p. 103– 118, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcb.14877>

Robinson, A. et al. The effect of soil pH and dicyandiamide (DCD) on N₂O emissions and ammonia oxidizer abundance in a stimulated grazed pasture soil. *Journal of Soils and Sediments*, v. 14, p. 1434–1444, 2014.

Saggar, S. et al. Denitrification and N₂O:N₂ production in temperate grasslands: Processes, measurements, modelling and mitigating negative impacts. *Science of the Total Environment*, v. 465, p. 173–95, 2013.

Santos, F. A. P. Metabolismo de proteína. In: Berchieli, T. T.; Pires, A. V.; Oliveira, S. G. *Nutrição de ruminantes*, Jaboticabal: Funep, 2006. Cap. 9, p. 255-285.

Sato, J. H.; De Carvalho, A. M.; De Figueiredo, C. C. *et al.* Nitrous oxide fluxes in a Brazilian clayey oxisol after 24 years of integrated crop-livestock management. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v. 108, p. 55–68, 2017. <https://doi.org/10.1007/s10705-017-9822-5>

Schneider S. H. The Greenhouse Effect: Science and Policy. *American Association for the Advancement of Science*, v. 243, n. 4892 p. 771-781, 1989. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.243.4892.771>

Schuchmann, K.; Müller, V. Autotrophy at the thermodynamic limit of life: a model for energy conservation in acetogenic bacteria. *Nature Reviews Microbiology*, v. 12, p. 809–821, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1038/nrmicro3365>

Selten, F. M.; Bintanja, R.; Vautard R. *et al.* Future continental summer warming constrained by the present-day seasonal cycle of surface hydrology. *Scientific Reports*, v. 10, n. 4721, 2020. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-61721-9>

Shrestha, N. K.; Hadano, S.; Kamachi, T. *et al.* Conversion of ammonia to dinitrogen in wastewater by *Nitrosomonas europaea*. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, v. 90, p. 221–232, 2001. DOI: <https://doi.org/10.1385/ABAB:90:3:221>

Sistema De Estimativas De Emissões e Remoções De Gases De Efeito Estufa (SEEG). *Análises Das Emissões Brasileiras De Gases Do Efeito Estufa E Suas Implicações Para As Metas Do Brasil*. 2019. Disponível em: <http://seeg.eco.br/o-que-e-o-seeg>

Smedman, A.; Månsson-Lindmark, H.; Drewnowski, A.; Edman, A. M. Nutrient density of beverages in relation to climate impact. *Food & Nutrition Research*, v. 54, p. 5170-577, 2010.

Smith, K.A., 2017. Changing views of nitrous oxide emissions from agricultural soil: key controlling processes and assessment at different spatial scales. *European Journal of Soil Science*, 68, 137-155. <https://doi.org/10.1111/ejss.12409>.

Soares, J.; Cassman, N.; Kielak, A. *et al.* Nitrous oxide emission related to ammonia-oxidizing bacteria and mitigation options from N fertilization in a tropical soil. *Scientific Reports*, v. 6, n. 30349, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1038/srep30349>

Taghizadeh-Toosi, A. *et al.* Biochar incorporation into pasture soil suppresses in situ nitrous oxide emissions from ruminant urine patches. *Journal of Environmental Quality*, v. 40, p. 468–476, 2011.

Thauer, R. K. The Wolfe cycle comes full circle. *PNAS*. v. 109, n. 38 p. 15084–15085, 2012.

Tomazi, M.; Magiero, E. C.; Assmann, J. M. *et al.* Sheep Excreta as Source of Nitrous Oxide in Ryegrass Pasture in Southern Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 39, n. 5, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/01000683rbc20140497>

Tully, K. L. *et al.* Nitrous oxide and methane fluxes from urine and dung deposited on Kenyan pastures. *Journal of Environmental Quality*, v. 46, p. 921–929, 2017.

U.S. Environmental Protection Agency (USEPA). Inventory of U. S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990-2015. U. S. Environmental Protection Agency, Washington DC, 2017. Disponível em: <http://www3.epa.gov/climatechange/emissions/usinventory.report.html>. Acessado em 20 de mar de 2020

United Nations 2019 (UN 2019). 2019 Revision of World Population Prospects. Department of Economic and Social Affairs Population Dynamics. Disponível em <https://population.un.org/wpp/>. Acesso em: 25 de mar de 2020.

United Nations Framework Convention On Climate Change (UNFCCC). *Greenhouse Gas Inventory Data*, 2017. Disponível em: http://di.unfccc.int/detailed_data_by_party.

United Nations Framework Convention On Climate Change (*UNFCCC*). *Paris Agreement*, Paris, 2015. 27p.

Van Soest, P. J. *Nutritional ecology of the ruminant*. 2. ed. Ithaca, New York: *Cornell University Press*, 1994. 476 p.

Van Zijderveld, S. M.; Gerrits, W. J. J.; Dijkstra, J. *et al.* Persistency of methane mitigation by dietary nitrate supplementation in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, v. 94 p. 4028–4038, 2011.

Wolin, M. J. The rumen fermentation: a model for microbial interactions in anaerobic ecosystems. *Advance Microbiology Ecology*, v. 3, p. 49-77, 1979.

Zumft, W. G. Cell biology and molecular basis of denitrification. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, v. 61, p. 533–616, 1997.

CAPÍTULO 12

ESTRATÉGIAS DE MITIGAÇÃO DA PRODUÇÃO DE GASES DO EFEITO ESTUFA E OS SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO

Frederico Patrus Ananias de Assis Pires; Matheus Anchieta Ramirez; Lúcio Carlos Gonçalves; Alan Figueiredo de Oliveira; Rafael Araújo de Menezes; Guilherme Lobato Menezes; Pamella Grossi de Sousa; João Vitor Araújo Ananias

RESUMO

A maior parte dos sistemas de produção nacionais são baseados em pastagens, devido ao elevado potencial econômico e produtivo desses modelos. Porém, tais sistemas têm sido criticados pela baixa eficiência, o que resulta em maiores emissões de gases do efeito estufa (GEE) por kg de produto gerado. A recuperação de pastagens e a associação entre diferentes estratégias de manejo sanitário e zootécnicos reduzem as emissões de metano por kg de produto e por área. Além disso, o tipo de forrageira utilizada, o manejo das pastagens e a suplementação dos animais com fontes de amido, de lipídeos, bem como o uso de aditivos, representam aspectos importantes que devem ser considerados para reduzir a produção do metano entérico. Em relação à utilização dos sistemas integrados, nos sistemas de integração lavoura-pecuária, observa-se uma redução das emissões relativas de GEE. A introdução do componente arbóreo nesses sistemas eleva, de forma significativa, a capacidade de compensação das emissões, pelo aumento da fixação do carbono atmosférico. Os impactos ambientais causados pelas emissões de metano entérico por bovinos criados em pastagens podem ser significativamente reduzidos ou totalmente compensados.

INTRODUÇÃO

No Brasil, a atividade pecuária caracteriza-se pela predominância do uso de pastagens, o que confere vantagem em termos de custos de produção (Almeida *et al.*, 2018). Além dos baixos custos, os sistemas de produção a pasto representam um diferencial qualitativo para os produtos de origem animal. Esse diferencial refere-se à valorização cada vez maior do mercado consumidor mundial para os alimentos produzidos por animais criados exclusivamente em pastagens. Tais sistemas também se diferenciam pela não competição por áreas destinadas à produção de alimentos usados diretamente na alimentação humana (como os grãos e os cereais). Ressalta-se ainda que

apresentam um elevado potencial de expansão, considerando-se os aspectos edafoclimáticos e socioeconômicos do país.

Apesar dos aspectos positivos, o modelo de produção nacional tem sido criticado pela sua ineficiência e pelos baixos índices zootécnicos, que resultam em maiores emissões de gases do efeito estufa (GEE) por kg de carne ou leite produzidos (IPCC 2019). Diversos estudos mostram que é possível aumentar a eficiência do modelo de produção em pasto para reduzir os impactos ambientais gerados, especialmente em relação à emissão de GEE. Além disso, a literatura descreve que os sistemas de integração podem ser usados para reduzir totalmente ou, pelo menos, uma parte desses impactos.

Neste capítulo, serão apresentadas as principais estratégias de mitigação da produção de GEE por bovinos em pastagens. Também será abordado como as emissões são minimizadas e compensadas pelo uso dos sistemas de integração.

INTENSIFICAÇÃO, PRODUTIVIDADE E AS EMISSÕES DE GEE

A intensificação dos sistemas produtivos representa uma importante ferramenta para reduzir os impactos ambientais do setor pecuário. Nesse sentido, Capper (2011) investigou os impactos da intensificação agropecuária nos EUA pela comparação entre os sistemas de produção de carne tipicamente usados em 1977 com os empregados em 2007. Em relação às emissões de GEE, a autora constatou uma redução de 82,3% nas de metano (CH₄) e de 88% nas de óxido nitroso (N₂O) emitidos para cada kg de carne produzido (intensidade de emissão). Esses valores foram atribuídos à modificação conjunta de diversos fatores produtivos específicos. Entretanto, independentemente da estratégia utilizada, o principal fator associado à intensificação dos sistemas produtivos, que leva à redução dos impactos ambientais, é a elevação da produtividade animal.

O aumento de produtividade relaciona-se à redução da emissão proporcional de GEE por unidade de produto formado. Essa perspectiva é um consenso entre diversos autores (Johnson e Ward, 1996; Moss *et al.*, 2000; Clark, 2013; Knapp *et al.*, 2014; Richardson, 2018) e baseia-se no conceito de que a energia gasta para a manutenção dos animais é um custo fixo. Ou seja, é uma estratégia que consiste em aumentar a fração da energia consumida que é destinada à produção e/ou reduzir os gastos ineficientes, levando a uma menor emissão relativa de GEE.

Alguns estudos foram conduzidos com o objetivo de investigar os efeitos de aumentar o desempenho dos animais e os impactos ambientais desse aumento. White e Capper (2013) avaliaram os impactos ambiental, econômico, social e a sustentabilidade

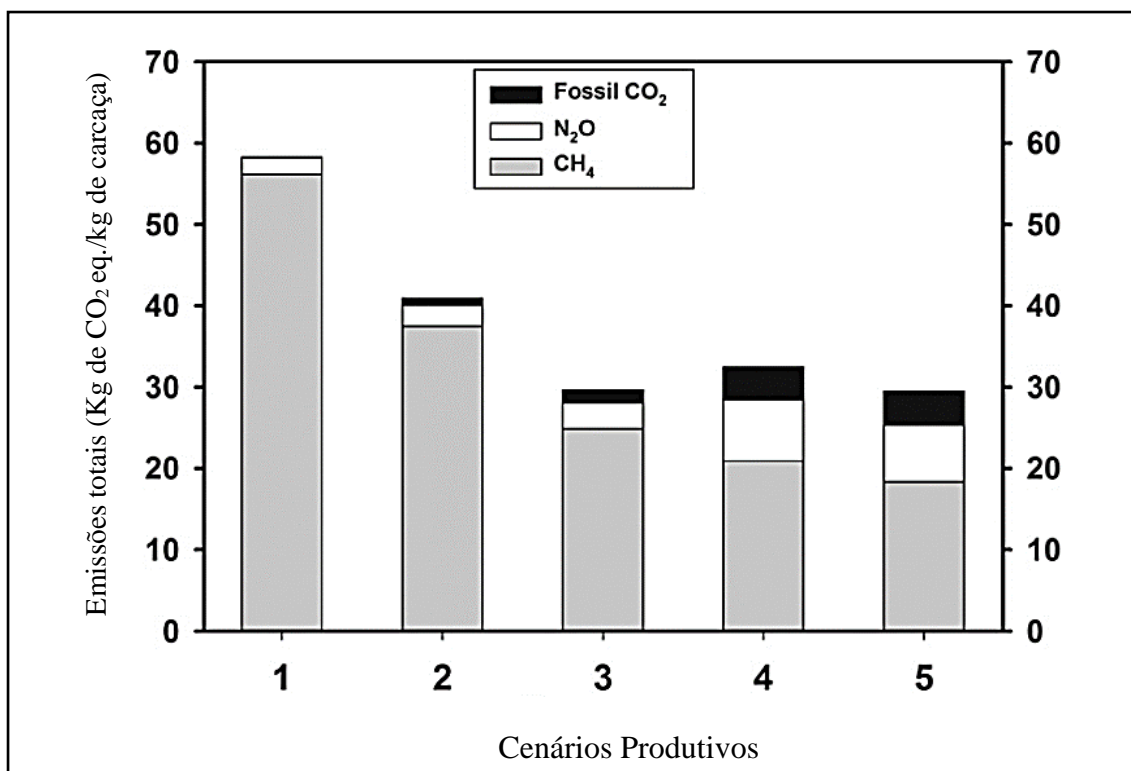
de três sistemas de produção de carne baseados em animais com diferentes índices de desempenho. Os sistemas estudados foram um aumento de 15% do ganho médio diário (GMD) dos animais ou um aumento de 15% do peso ao abate em relação a um grupo controle. Além das emissões de GEE, os autores também avaliaram os impactos no uso da terra e da água e no consumo de alimentos. Com o aumento do GMD, ocorreram reduções de 6,4% no consumo de alimentos, de 3,2% no uso da terra, de 12,3% no uso da água e de 11,7% na produção de GEE/kg de produto. Para o aumento do peso ao abate, foram observadas reduções ainda maiores nas variáveis analisadas. Houve redução de 12,1% no consumo de alimentos, de 9,2% no uso da água, de 15,5% no uso da terra e de 14,7% na produção de GEE/kg de produto. Os autores ressaltam que o impacto ambiental pôde ser reduzido, mas, para a obtenção de ganhos sociais e econômicos, devem-se observar fatores dependentes dos consumidores e dos produtores. Esses aspectos devem ser considerados, uma vez que, para atingir a sustentabilidade, deve-se responder a três perguntas: é economicamente viável? É socialmente justo? É ambientalmente adequado?

Cardoso *et al.* (2016), em um trabalho conduzido no Brasil, estudaram o efeito de cinco níveis de intensificação em propriedades de corte e os impactos nas emissões de GEE em toda a cadeia produtiva da carne. A intensificação dos sistemas foi realizada com o uso gradativo de práticas já existentes e conhecidas. Os quatro primeiros cenários basearam-se na produção totalmente a pasto. Cenário 1: pastagem degradada formada por *Urochloa decumbens* sem suplementação dos animais; cenário 2: pastagem de *Urochloa brizantha* cv. Marandu formada em solo corrigido e adubado com fósforo (P) e potássio (K) e uso de suplemento mineral; cenário 3: semelhante ao cenário 2, porém com a inclusão de leguminosas em consórcio com a pastagem; cenário 4: pastagem de *Megathyrus maximum* formada em solo corrigido e adubado com P e K. Nesse cenário, também houve o uso de adubação anual nitrogenada equivalente a 150 kg N ha⁻¹ e de suplementos proteico-energéticos (estrategicamente). Por fim, o cenário 5 foi o mais tecnificado e, além do manejo intensivo da pastagem de *Megathyrus*, houve um período de 75 dias de confinamento na fase de terminação dos animais. As emissões totais de GEE ao longo de toda a cadeia foram convertidas em equivalentes de CO₂ (CO₂ eq.), conforme IPCC (2007).

Como resultado, os autores observaram aumento do ganho de peso e redução do consumo, com o uso gradativo das práticas de intensificação. As emissões totais de GEE foram reduzidas de 58,3 para 29,4 kg de CO₂ eq./kg de carcaça, o que representa uma queda de 50%. Entretanto, essa redução foi significativa apenas nos primeiros níveis de

intensificação e os valores emitidos de CO₂ eq./kg de carcaça foram semelhantes entre os cenários 3 e 5. Além disso, a proporção do CH₄ entérico nas emissões totais por cenário foi gradativamente reduzida, de 96% do total emitido em CO₂ eq. no cenário 1 para 61% no cenário 5. Esses resultados podem ser explicados pela aplicação de fertilizantes nitrogenados e pelo maior uso de suplementos nos cenários 4 e 5, o que levou a um aumento expressivo nas emissões fósseis de CO₂ e N₂O (Figura 1). Os processos de fabricação e aplicação do N foram os que mais impactaram nesse aumento.

Figura 1. Proporção das emissões de CO₂ eq. em cinco sistemas de produção de bovinos de corte (1, 2, 3, 4 e 5), com diferentes níveis de intensificação



Fonte: Adaptado de Cardoso *et al.* (2016).

Dessa forma, ao se implementarem estratégias de mitigação das emissões de GEE, é relevante considerar os possíveis impactos em outros pontos da cadeia, especialmente em situações de maior intensificação dos sistemas produtivos. Os estudos que avaliam toda a cadeia produtiva são referidos como análise do ciclo da vida (ACV). Esses estudos incluem todos os segmentos produtivos “antes da porteira” (produção, transporte e armazenamento de insumos), “dentro da porteira” (produção de alimentos, criação dos animais e operações de manejo) e “depois da porteira” (embalagem, refrigeração, transporte, varejo, restaurante e consumidor).

Apesar da importância de avaliar outras partes da cadeia produtiva, as etapas de criação e produção de alimentos para os animais (operações “dentro da porteira”) ainda são as que mais impactam nas emissões totais de GEE (Pelletier *et al.*, 2010; Wiedemann *et al.*, 2015). Esse aspecto pode ser observado, inclusive, nos cenários de maior intensificação produtiva, demonstrados por Cardoso *et al.* (2016). Hiablie *et al.* (2018) realizaram um estudo de análise de ciclo da vida (ACV) em sistemas de produção de carne nos EUA. Os resultados desse levantamento demonstraram que 74% de todas as emissões em CO₂ eq. na cadeia estão relacionadas à fase de criação e à produção de alimentos para os animais. O CH₄ entérico é o principal contribuinte nas emissões, com 47% do total, seguido pelo N₂O, com 27% do total de GEE emitidos. Outras etapas da cadeia, como resfriamento, transporte e preparo, contribuíram com quase 10% do total. Apesar de haver algumas variações, diversos estudos de ACV corroboram a tese de que as emissões de N₂O e de CH₄ entérico pelos animais representam as principais fontes de emissão de GEE nas cadeias produtivas pecuárias. Esses estudos foram conduzidos em diferentes regiões mundiais (Pelletier *et al.*, 2010; Wiedemann *et al.*, 2015) e também em sistemas de produção de leite (Léis *et al.*, 2014; Cunha *et al.*, 2016). Portanto, as principais estratégias de mitigação devem focar nas operações dentro da propriedade, sobretudo nas etapas de criação e produção de alimentos.

ESTRATÉGIAS DE MITIGAÇÃO

A seguir, serão discutidos alguns aspectos específicos relacionados à intensificação dos sistemas produtivos e às estratégias que levam à redução das emissões de GEE. Cada aspecto possui um mecanismo distinto de atuação, e a maior parte está relacionado à redução do CH₄ entérico, uma vez que é o principal GEE produzido nas cadeias produtivas. Muitas estratégias de mitigação foram estudadas, e as principais podem ser resumidas e divididas em duas categorias.

1. Abordagens de manejo: estratégias gerais que envolvem os aspectos produtivos dos rebanhos e gerenciais das propriedades.

2. Abordagens nutricionais: estratégias que envolvem a qualidade dos alimentos consumidos, o manejo de pastagens, o uso de suplementos e de aditivos que modificam os padrões de fermentação ruminal.

ABORDAGENS DE MANEJO DOS REBANHOS

Seleção genética

O aprimoramento genético dos rebanhos é um recurso relevante no processo de redução das emissões de GEE. Essa abordagem baseia-se em selecionar animais mais eficientes, que apresentam baixas exigências de manutenção em relação à capacidade produtiva (Richardson, 2018). Esses animais geralmente atingem o peso de abate em menor espaço de tempo (produção de carne), com menores emissões totais (CH_4 /vida produtiva) e relativas (CH_4 /kg de carne ou leite) (Berchielli *et al.*, 2012).

Shang *et al.* (2019), em um estudo conduzido com vacas em lactação na Nova Zelândia, investigaram os impactos da seleção genética para oito características de eficiência produtiva sobre a redução da produção de CH_4 entérico. Os resultados do trabalho demonstraram que, se implementado, o melhoramento genético dos rebanhos focado nessas características poderá reduzir a produção de CH_4 em até 2,31kg (33%) vaca/ha/ano nos próximos 20 anos. Essas características genéticas referem-se principalmente ao aumento da eficiência alimentar dos animais. Tal condição também foi observada por outros autores, com o uso de diferentes espécies ruminantes e metodologias de avaliação (Hendriks *et al.*, 2013; Paganoni *et al.*, 2017; Richardson, 2018).

Manejo reprodutivo

Melhorias dos aspectos reprodutivos, quando associadas ao adequado manejo nutricional e sanitário, impactam positivamente em diversos indicadores zootécnicos de eficiência produtiva. Os principais ganhos geralmente observados são: redução da idade ao primeiro parto, redução do número de animais adultos não lactantes (vacas secas), redução do período de serviço e, logo, do intervalo entre partos (IEP). Em sistemas de produção de leite, essa condição resulta em maior produção individual (maior número de lactações por vida produtiva) e total da propriedade (maior proporção de animais produtivos e em pico de lactação).

Desse modo, quando se consideram todos os animais do sistema, há um efeito de diluição sobre os GEE emitidos em relação ao volume de leite produzido (Wall *et al.*, 2012). Além disso, vacas em início de lactação, com elevada mobilização tecidual, naturalmente produzem menores quantidades relativas de metano entérico em comparação com animais em estádios mais avançados (Vanlierde *et al.*, 2015; Bielak *et al.*, 2016).

Em bovinos de corte, o manejo reprodutivo eficiente também é relevante no processo de redução das emissões de CH₄, uma vez que a etapa de cria é responsável por 80% das emissões totais de GEE dentro do ciclo de produção de carne (Beuchamin *et al.*, 2010). Dessa forma, reduzir o número de animais improdutivos e aumentar as taxas de natalidade são estratégias fundamentais nesse setor.

União entre cadeias produtivas

Além do aumento da eficiência reprodutiva, os impactos da fase de cria na cadeia produtiva da carne também podem ser reduzidos pela integração com os sistemas de produção de leite. Essa integração ocorre com o uso dos bezerros nascidos em propriedades de leite, para a produção de carne (Capper, 2011; Stackhouse-Lawson *et al.*, 2012; Rotz *et al.*, 2015). Esses animais apresentam menores emissões de GEE e de uso de recursos, uma vez que são coprodutos dos sistemas de produção de leite (Stackhouse-Lawson *et al.*, 2012). Além disso, vacas produtoras de leite têm parte dos seus impactos compensados pela produção de leite, e a manutenção das matrizes de corte é o fator que mais contribui para as emissões da fase de cria (Rotz *et al.*, 2010).

Rotz *et al.* (2015), em um estudo de ACV da produção de carne, investigaram os impactos ambientais em sistemas de produção que utilizaram bezerros nascidos em propriedades de leite. Os autores observaram uma redução média de 4,2% nas emissões de CO₂ eq., de 19,1 kg para 18,3 kg CO₂ eq./kg de carcaça, em sistemas que usam esses animais. O estudo foi conduzido em três estados da região oeste dos EUA, tradicionalmente produtores de carne, e, portanto, havia baixa contribuição dos animais de aptidão leiteira no rebanho. Por outro lado, Nguyen *et al.* (2010) tiveram resultados diferentes em um estudo conduzido na Europa. As reduções de CO₂ eq. observadas nos rebanhos que usavam animais de origem leiteira foram de 38%. Essas diferenças se devem à proporção numérica de animais nascidos em rebanhos leiteiros nos rebanhos de corte, que são muito diferentes entre os estudos de Nguyen *et al.* (2010) e de Rotz *et al.* (2015). Estima-se que, na Europa, mais de 50% dos animais abatidos são oriundos de fazendas produtoras de leite (Weidema *et al.*, 2008).

Os impactos positivos da integração entre as cadeias produtivas de carne e de leite podem diminuir com a elevação da eficiência dos sistemas de produção de leite. Apesar dos aspectos positivos, que serão citados posteriormente, o aumento da produção de leite por vaca, com a redução do tamanho dos rebanhos, também diminuirá a disponibilidade de bezerros para a produção de carne. Dessa forma, poderá haver um aumento da

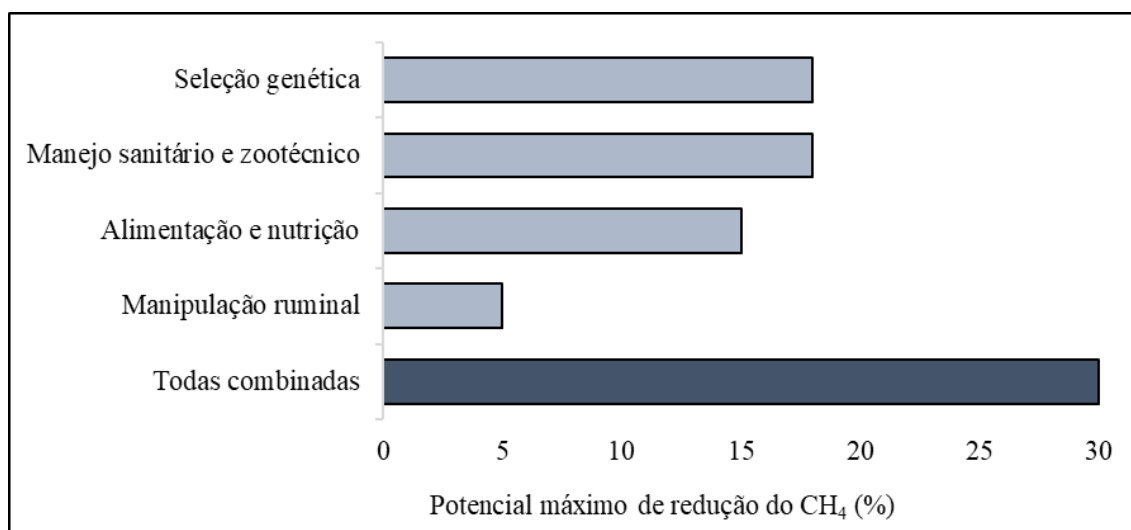
quantidade de sistemas de cria, com possíveis aumentos indiretos nas emissões de GEE futuramente (O'Mara, 2011). Essa condição assume maior relevância em países desenvolvidos, e não justificaria reduções na eficiência produtiva (considerando-se os aspectos econômicos e outros aspectos climáticos). Outra questão relevante quanto ao uso de animais de aptidão leiteira diz respeito aos índices de desempenho desses animais. Geralmente, esses animais são mais tardios (Marquat, 1964; Molletta e Restle, 1996), possuem eficiência alimentar inferior (Rocha *et al.*, 1999) e menor rendimento de carcaça (Jorge, 1993; Mousquer *et al.*, 2014) em relação aos animais de raças especializados para a produção de carne. Portanto, deve-se observar a viabilidade econômica do uso de animais de aptidão leiteira, embora representem uma importante alternativa para minimizar os impactos ambientais na pecuária.

Gestão zootécnica, sanitária e combinação entre abordagens

Abordagens de maior amplitude que envolvam melhorias nas gestões zootécnica e sanitária representam importantes estratégias para reduzir a produção relativa de CH₄ entérico nas propriedades. Knapp *et al.* (2014) realizaram um estudo de metanálise para avaliar os impactos dessas estratégias sobre a emissão de CH₄ entérico por vacas em lactação. Os autores analisaram os efeitos individuais e combinados do uso de diferentes abordagens. As principais estratégias de manejo investigadas foram: redução do estresse térmico, controle e prevenção de doenças, uso de instalações adequadas e aumento da vida produtiva. Os resultados demonstraram que a combinação dessas estratégias com o melhoramento genético dos animais e com abordagens nutricionais pode levar a reduções de até 30% na produção de CH₄ por kg de leite produzido. Esses autores também demonstraram que abordagens nutricionais, isoladamente, podem promover reduções de até 15% (CH₄/kg de leite) (Figura 2).

Resultados parecidos foram obtidos em um trabalho de revisão realizado por Beukes *et al.* (2010) sobre estratégias de manejo dos rebanhos para redução das emissões de GEE em fazendas da Nova Zelândia. Os autores observaram que a seleção para animais mais eficientes e a diminuição do número de animais improdutivos (pelo aumento do descarte voluntário) podem reduzir a produção de metano em até 8%. Além disso, demonstraram que a melhoria do manejo de pastagens pode provocar uma queda das emissões em até 18%.

Figura 2. Potencial de redução da produção de CH₄ entérico em sistemas de produção de leite com o uso de diferentes estratégias e a combinação entre todas



Fonte: Adaptado de Knapp *et al.* (2014).

Assim, a melhor forma de obter reduções das emissões de CH₄ pelos rebanhos consiste em associar as diferentes abordagens disponíveis. Outro aspecto que pode ser observado nos estudos de Knapp *et al.* (2014) e Beukes *et al.* (2010) é a relevância isolada das abordagens nutricionais e do manejo de pastagens no contexto geral de mitigação dos GEE. Outros trabalhos, baseados em sistemas menos intensivos e com o uso de outras estratégias, demonstraram ainda que é possível reduzir até 60% das emissões de GEE apenas por intervenção dietética (Bodas *et al.*, 2012; Hristov *et al.*, 2013; Ugbogu *et al.*, 2019). Portanto, as variáveis que se referem ao uso de estratégias nutricionais e ao manejo de pastagens serão aprofundadas.

ABORDAGENS NUTRICIONAIS

Espécie forrageira e manejo de pastagens

Até 74% do consumo total de matéria seca dos ruminantes é constituído pela biomassa de capim disponível nas pastagens (Chang *et al.*, 2019). No Brasil, a importância dietética das pastagens para os bovinos é ainda maior, uma vez que a maior parte dos rebanhos são mantidos exclusivamente em pastagens (Pedreira *et al.*, 2015).

A área de pastagem do país (nativas e cultivadas) ocupa aproximadamente 160 milhões de hectares (Parente e Ferreira, 2018). Porém, aproximadamente 70% dessa área encontra-se em algum nível de degradação (Dias-Filho, 2014). Conforme Dias-Filho (2017), a degradação das pastagens resulta em menor capacidade de suporte e de valor

nutricional, com menor desempenho animal individual e por área (kg de produto por ha). Essa condição contribui negativamente para a eficiência do sistema e resulta em maiores emissões de metano por unidade de produto obtido (Guimarães Júnior *et al.*, 2010). Dessa forma, a recuperação de pastagens degradadas representa uma importante estratégia mitigadora, pois possibilita maiores desempenhos por área, com diluição da produção de metano por kg de produto comercializado pela propriedade.

Deramus *et al.* (2003) verificaram que, com o aumento da produtividade por área pelo uso de adubação estratégica das pastagens, é possível reduzir em até 22% as emissões anuais de CH₄/kg de ganho/área. Além desses efeitos de diluição, práticas de manejo adequadas, como a correção e a reposição de nutrientes pela aplicação de fertilizantes, promovem maior acúmulo de carbono (C) no solo ocupado com pastagens. Dependendo do nível de intensificação, esse acúmulo pode ocorrer em quantidades suficientes para anular até 80% das emissões de CO₂ eq. por um bovino de corte adulto (IPCC, 2006).

A baixa produtividade de forragem observada nas pastagens degradadas também está relacionada a maiores emissões de N₂O nesses sistemas. Chirinda *et al.* (2019) quantificaram as produções de N₂O formados pela transformação do N urinário em pastagens degradadas e não degradadas em cinco países da América Latina e do Caribe. Os autores encontraram produções de N₂O quase duas vezes maiores nos sistemas degradados. Esse aspecto ocorre principalmente devido à menor captação de N do solo pelas plantas nesses sistemas. Além disso, os solos de pastagens degradadas muitas vezes encontram-se compactados, o que reduz a aeração do solo e favorece os processos microbiológicos relacionados à formação do N₂O (Van Groenigen *et al.*, 2005).

Assim como a degradação das pastagens, o nível de consumo, a qualidade da forragem disponível e a digestibilidade da massa ingerida também são fatores determinantes para a produção de GEE nos sistemas a pasto (Cottle *et al.*, 2011). A espécie e a família da forrageira utilizada podem interferir nesses aspectos. Um estudo de metanálise realizado por Archimed (2011) demonstrou que animais alimentados com elevada proporção de leguminosas tropicais produziram 20% menos CH₄ entérico em comparação com os alimentados somente por gramíneas tropicais. Os autores justificaram os valores devido à elevada concentração de taninos condensados, que reduziram a digestibilidade da fibra em detergente neutro (FDN) no rúmen. Sabe-se que, na fermentação da FDN, o principal produto final é o ácido acético (Hungate, 1966). A fermentação acética disponibiliza maiores quantidades de H₂ no rúmen, o que favorece a atividade metanogênica (Moss *et al.*, 2000).

A proporção de FDN na composição química das forrageiras pode ser correlacionada com o tipo de metabolismo fotossintético utilizado. Com base nesse metabolismo, as gramíneas são separadas em dois grupos distintos: gramíneas do tipo C3, predominantes em regiões de clima temperado, e gramíneas do tipo C4, encontradas principalmente em regiões de clima tropical. Em geral, as gramíneas do tipo C4 possuem menor valor nutricional, com elevados percentuais de FDN (Nelson e Moser, 1994). No estudo realizado por Archimed (2011), além do efeito do uso de leguminosas tropicais, também foi investigada a relação entre o uso de gramíneas do tipo C3 ou do tipo C4 e a produção de CH₄ entérico. Os resultados mostraram que os animais mantidos em pastagens de gramíneas do tipo C3 apresentaram produções de CH₄ 17% menores em relação aos animais que consumiram gramíneas do tipo C4. Segundo os autores, o maior consumo de FDN foi o principal responsável pelas maiores emissões observadas nos animais alimentados com gramíneas do tipo C4.

Conforme Chang *et al.* (2019), a parcela de gramíneas C4 na alimentação dos ruminantes aumentou significativamente nos últimos anos. Esses autores estimaram que, no mundo, a proporção do consumo de gramíneas do tipo C4 aumentou de 24,3%, na década de 1960, para 31,3%, na década de 2000. Essa elevação é justificada principalmente pelo aumento expressivo dos rebanhos na América Latina, em países como o Brasil e a Argentina, e em outros locais, como a Austrália. Nesse mesmo estudo, os autores demonstraram ainda que a proporção de CH₄ entérico na atmosfera produzido por animais mantidos em pastagens formadas por gramíneas do tipo C4 também aumentou nesse período.

Assim como a participação total da FDN na composição química das plantas forrageiras, a proporção entre celulose e hemiceluloses também está relacionada com a produção de CH₄. Conforme equação proposta por Moe e Tyrrell (1979), na fermentação das hemiceluloses, a produção de CH₄ é três vezes menor quando comparada com a da celulose (37%). Nesse sentido, Lima *et al.* (2018) avaliaram a produção de metano *in vitro* de três forrageiras tropicais: *Urochloa brizantha*, *Urochloa decumbens* e pelo gênero *Megathyrsus maximum*. Nesse trabalho, não foram encontradas diferenças nos valores de digestibilidade da matéria orgânica, porém foi observada uma maior produção de metano pelo *Megathyrsus maximum*. A justificativa dada pelos autores foi a qualidade da FDN, que apresentou elevadas proporções de celulose em relação às hemiceluloses. Entretanto, o manejo utilizado e a fertilidade do solo também podem ter influenciado os resultados obtidos.

Em geral, o manejo da pastagem que prioriza o ponto de pastejo ideal para cada gramínea aumenta a eficiência de uso da forragem, o valor nutritivo e a longevidade produtiva (Anjos *et al.*, 2016). Esses aspectos estão diretamente relacionados à idade, à massa de forragem e à altura do pasto no momento de uso (Santos *et al.*, 2011). Wims *et al.* (2010) avaliaram os efeitos da variação da massa de forragem pré-pastejo (1.000 kg/ha ou 2.200 kg/ha) sobre o consumo, a emissão de metano e a produção de leite. No tratamento de menor massa de forragem, houve menor produção de CH₄/kg de leite e por kg de matéria seca (MS) consumida. Os autores concluíram que os resultados ocorreram devido à maior digestibilidade e à maior proporção de carboidratos solúveis presentes na pastagem jovem. A interpretação desses resultados deve ser criteriosa, e, para suas aplicações, deve-se considerar a fisiologia da planta e a manutenção da longevidade das pastagens. A estrutura da pastagem no momento de uso, no que se refere à relação folha/colmo, também deve ser considerada.

O uso de forrageiras de elevada digestibilidade pode aumentar o nível de consumo de matéria seca (CMS) e também a produção total de CH₄. Esse processo ocorre em razão da maior quantidade e da maior extensão de fermentação dos alimentos no rúmen (Liu *et al.*, 2017). Porém, incrementos no desempenho dos animais reduzem a proporção de CH₄ emitido por unidade de produto (carne ou leite). Portanto, as estimativas da emissão de metano entérico devem ser expressas em relação ao CMS ou ao produto animal (Pereira *et al.*, 2015).

Por fim, um ponto importante que pode interferir em diversos aspectos discutidos anteriormente diz respeito ao adequado ajuste na taxa de lotação. Esse aspecto é fundamental para evitar a degradação das pastagens e garantir a qualidade da forrageira consumida. Conforme Souza Filho *et al.* (2019), o adequado ajuste na taxa de lotação, que considera o equilíbrio entre a fisiologia vegetal e o desempenho animal, reduz as emissões de CH₄ entérico por área.

Suplementação com carboidratos não fibrosos

Uma outra estratégia mitigadora consiste em elevar a proporção do consumo de carboidratos não fibrosos (CNFs), como o amido (Moe e Tyrrell, 1979). A fermentação desses carboidratos é predominantemente propiônica e resulta em menor disponibilidade de gás H₂ para a atividade metanogênica no rúmen (Johnson e Johnson, 1995). Além disso, Huhtanen e Hetta (2012), em um robusto estudo de metanálise com 988 tratamentos, relataram uma relação positiva e altamente significativa entre o uso de

concentrado na dieta e a produção de leite corrigido para energia. Essa condição, associada ao favorecimento da fermentação propiônica no rumém, resulta em menores emissões de GEE por kg de MS ingerida e por kg de leite produzido. Esse mesmo raciocínio também pode ser utilizado em bovinos de corte. Entretanto, condições intrínsecas de cada sistema produtivo podem interferir nas respostas obtidas, e o uso de concentrados pode não impactar as emissões de GEE. Essa condição é ainda mais relevante na produção animal a pasto, devido à maior quantidade de variáveis de menor controle.

Dall-Orsoletta *et al.* (2019) avaliaram o efeito da suplementação de vacas em lactação mantidas em pastagens de aveia e azevém com fontes de amido. As fontes usadas foram o milho moído (3,2 kg de MS/animal) ou a silagem de milho (4,2 kg de MS/animal). Os autores observaram que a suplementação reduziu a produção total de CH₄/kg de MS ingerida, porém não encontraram diferenças na produção de CH₄/kg de leite. Esse resultado pode ser explicado pela elevada digestibilidade da forrageira (79%) e pelos baixos incrementos na produção de leite pelos animais suplementados. Resultados semelhantes foram obtidos por O'Neill *et al.* (2012) ao investigarem os efeitos da suplementação para vacas no terço final de lactação. Apesar da elevação da produção de leite, também não houve reduções nas intensidades de emissão de CH₄ quando os animais foram suplementados com 4,2 kg/MS de mistura à base de silagem de milho e concentrado.

Por outro lado, trabalhos que investigaram os efeitos do uso de alimentos concentrados em animais mais produtivos e com maiores níveis de suplementação tiveram resultados diferentes. Como exemplo, pode-se citar o estudo conduzido por Jião *et al.* (2014), que também avaliou os impactos da suplementação sobre a produção de CH₄/kg de leite produzido. Nesse trabalho, foram utilizadas 88 vacas no início e no meio da lactação, mantidas em sistema de pastejo rotacionado e suplementadas com 2, 4, 6 ou 8 kg de concentrado. Os autores observaram uma redução gradativa na intensidade das emissões, com o uso de maiores quantidades de concentrado. Em valores absolutos, a redução foi de 15,4 kg CH₄/kg de leite com o uso de 2 kg de concentrado para 10,8 kg de CH₄/kg de leite com o uso de 8 kg de concentrado. Esses valores equivalem a uma diminuição total de 30% nas intensidades de emissão.

Portanto, o uso de grãos (CNFs) representa uma importante alternativa para reduzir as emissões de CH₄. Porém, deve-se levar em consideração o nível de inclusão, a qualidade da pastagem e o nível produtivo/estádio fisiológico dos animais (Pereira *et al.*,

2015). Além disso, a redução da emissão de CH₄ pelo uso dos grãos na dieta pode ser parcialmente compensada pelo aumento da emissão de GEE em outras etapas da sua produção, como: cultivo, colheita e transporte (Knapp *et al.*, 2014)

Suplementação com lipídeos

Assim como a proporção de CNFs, o percentual de extrato etéreo (EE) consumido também influencia a produção de CH₄ pelos ruminantes (Johnson e Johnson, 1995; Benaouda *et al.*, 2019). Segundo Vargas *et al.* (2020), a adição de óleos vegetais em até 6% na dieta pode reduzir a produção de CH₄ entérico em até 28%, sem afetar a digestão dos alimentos no rúmen.

Pereira *et al.* (2015), em um estudo de revisão, discutiram que a redução da produção de CH₄ entérico pelo uso de lipídeos pode ocorrer por múltiplos mecanismos, entre eles: redução da matéria orgânica fermentável no rúmen; redução direta da atividade metanogênica pela presença de ácidos graxos de cadeia média; efeito tóxico dos ácidos graxos poli-insaturados (AGPs) sobre as bactérias celulolíticas e os protozoários e, finalmente, bio-hidrogenação desses AGPs com a redução da disponibilidade de H₂ no rúmen.

Beck *et al.* (2019) avaliaram o efeito da suplementação com caroço de algodão, com gordura protegida ou com óleo de soja na produção de CH₄ por novilhos de corte em pasto. Em média, o EE da dieta consumida foi de 5,7%. Os três tratamentos reduziram a produção média diária de CH₄ em 12%. Em relação à intensidade de emissão (g de CH₄/kg de ganho médio), a redução média foi de 51%. Apesar desses valores significativamente elevados, é importante ressaltar que não foram considerados os possíveis efeitos de compensação do uso dessas oleaginosas na emissão de GEE em outras partes da cadeia produtiva.

Suplementação com subprodutos

Os subprodutos são cada vez mais utilizados nos sistemas produtivos devido ao elevado potencial de redução de custos que possuem. Em comparação com as demais estratégias de suplementação, poucos trabalhos investigaram o uso de subprodutos em relação à redução de impactos ambientais, especialmente em sistemas baseados em pastagens. Ainda assim, observam-se alguns resultados relevantes na literatura que podem contribuir como importantes estratégias de mitigação dos GEE.

Recentemente, o crescimento das indústrias de etanol aumentou a disponibilidade de alguns subprodutos referidos como DDGs (“dried distillers grains with solubles”)

ou WDGs (“wet distillers grains”). Esses coprodutos são resíduos, na maioria das vezes, do processamento do grão de milho. Algumas características desses alimentos conferem elevado potencial de redução da produção de CH₄ entérico. Entre elas, estão os níveis de EE, que geralmente variam de 11 a 17%, e os elevados teores de hemiceluloses em relação à celulose (1,5:1) na FDN (Schingoethe *et al.*, 2009).

A maior parte dos trabalhos que avaliaram o uso dos DDGs na alimentação animal foram conduzidos com animais confinados alimentados com dieta total. Benchaar *et al.* (2013), em um estudo conduzido com vacas de alta produção de leite, demonstraram uma redução linear da produção de CH₄ entérico com diferentes níveis de inclusão de DDGs na dieta. O mesmo comportamento foi observado por Hünerberg *et al.* (2013), em um estudo com bovinos de corte em período de terminação. Tanto no estudo de Benchaar *et al.* (2013) quanto no de Hünerberg *et al.* (2013), também houve aumento da excreção de N urinário conforme o aumento da proporção de DDGs na dieta. Essa condição é relacionada aos elevados níveis de proteína não degradável no rúmen (PNDR) desses alimentos. Geralmente, os níveis de inclusão desses alimentos ultrapassam as exigências de proteína dos animais, com o objetivo de usar a PNDR absorvida no intestino como fonte de energia.

Nesse sentido, Hünerberg *et al.* (2014), em um estudo de ACV, demonstraram que, apesar de reduzir as emissões de CH₄ entérico, o uso de DDGs pode elevar as emissões de N₂O, devido à maior excreção de N pelos animais. Dessa forma, para reduzir os impactos ambientais, os autores não recomendam o uso desses alimentos em um nível que exceda as exigências proteicas dos animais.

Também foram avaliados os efeitos do uso de outros subprodutos da indústria alimentícia, como a casca de soja e a polpa cítrica (López *et al.*, 2014; Williams *et al.*, 2018; Marcos *et al.*, 2020). Assim como nos trabalhos com DDGs, a maior parte desses estudos foram conduzidos em sistemas de confinamento. Esses trabalhos possuem resultados muito variáveis em relação à redução dos impactos ambientais. Entretanto, nenhum desses estudos demonstrou aumento das emissões de GEE devido ao uso desses alimentos.

Essa condição foi diferente em um estudo conduzido por Lovett *et al.* (2005), que avaliaram os efeitos da suplementação de vacas em lactação em pasto com subprodutos fibrosos (32,8% FDN) e a emissão de CH₄ entérico. Os autores observaram aumento da produção diária de metano (de 346 para 399 g/vaca/dia) e do consumo de MS com o uso crescente dos subprodutos. No entanto, é importante destacar que houve uma tendência

de redução da emissão de CH₄ por kg de leite produzido, devido à elevação da produção de leite dos animais com o uso dos subprodutos. Além disso, os animais usados encontravam-se no terço final de lactação, o que pode ter prejudicado a redução significativa das emissões relativas.

A elevada variação dos resultados presentes na literatura pode ser atribuída (além das condições experimentais específicas) a diferenças no valor nutricional dos subprodutos. Essas variações são justificadas principalmente pela presença de diferentes métodos de processamento das matérias-primas que dão origem a esses alimentos (Gonçalves *et al.*, 2009). Conforme Johanson e Johanson (1995), o valor nutricional dos alimentos interfere diretamente na produção de CH₄ entérico.

Aditivos

A manipulação do ecossistema ruminal com o uso de aditivos também pode reduzir as emissões de CH₄ (Berchielli *et al.*, 2012). Entre os aditivos mais usados estão os ionóforos, representados principalmente pela monensina, a lasolacida e a salinomicina (Nagaraja *et al.*, 1997). Os ionóforos são antimicrobianos e atuam na redução da população de protozoários ciliados e de bactérias Gram-positivas produtoras de acetato, de butirato e de H₂ (Morais *et al.*, 2006). Desse modo, podem aumentar a eficiência alimentar e reduzir a produção de CH₄ (Li *et al.*, 2018). De acordo com Tedeschi *et al.* (2003), a inclusão de ionóforos na dieta pode reduzir as emissões totais de CH₄ em até 25% e a ingestão de alimentos em 4%, sem interferir no desempenho dos animais. Entretanto, o efeito pode ser transitório em razão do desenvolvimento de resistência microbiana, e existe uma grande pressão mundial para redução do uso desses aditivos. Como alternativa, outros aditivos, baseados em extratos vegetais e óleos essenciais, têm sido estudados (Kim *et al.*, 2014; Cobellis *et al.*, 2016; Kolling *et al.*, 2018).

Os óleos essenciais são compostos aromáticos lipofílicos, encontrados em tecidos vegetais em geral, especialmente concentrados na casca, nas flores, nas folhas, nos rizomas e nas sementes (Araújo, 1995). Esses compostos são produzidos pelo metabolismo secundário vegetal, para a proteção das plantas (Taiz e Zieger, 2004). Cada óleo essencial difere quanto ao modo de ação (Benchaar e Greathead, 2011), mas, em geral, todos contêm constituintes químicos e grupos funcionais, como terpenoides, fenólicos e fenóis, com forte atividade antimicrobiana (Burt, 2004). Dessa forma, alguns estudos *in vitro* demonstraram que o uso desse componente pode reduzir a produção de CH₄ em 20 a 60% (Bodas *et al.*, 2012). Bodas *et al.* (2012), em um extenso estudo de

revisão sobre o uso de metabólitos secundários de plantas, verificaram que a produção de CH₄ entérico é dose dependente. Nesse sentido, em doses baixas, a fermentação ruminal não é afetada pelos óleos essenciais, enquanto em altas doses esses compostos podem inibir diversas espécies microbianas ruminais (Benchaar *et al.*, 2008).

Assim como os óleos essenciais, outros produtos do metabolismo secundário vegetal, como os taninos, as saponinas e os compostos organossulfurados, têm sido relacionados à redução da produção de CH₄ entérico. Entretanto, as propriedades antimicrobianas desses compostos podem, eventualmente, reduzir a produção de AGVs no rúmen (Ugbogu *et al.*, 2019). Os mecanismos de ação e mais resultados de pesquisa podem ser encontrados em Machado *et al.* (2011) e Bodas *et al.* (2012). É importante ressaltar que o uso de determinados aditivos, especialmente aqueles à base de extratos vegetais, pode não apresentar viabilidade econômica favorável (Bodas *et al.*, 2012).

Outras estratégias

O processo fermentativo ruminal também pode ser alterado pelo uso de outras estratégias para reduzir as produções de metano entérico. Essas estratégias possuem menor utilização e estão diretamente relacionadas ao metabolismo do H₂ no rúmen, além de representarem vias alternativas de utilização do H₂ ou a redução direta da produção desse gás. Conforme Machado *et al.* (2011), os principais produtos utilizados nessas estratégias são: ácidos orgânicos; leveduras; sais de nitrato ou sulfato; vacinação contra metanogênicas; bacteriófagos e bacteriocinas. Esses autores apresentam extensa discussão em relação ao uso dessas estratégias.

EMISSÕES DE GEE E OS SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO

A crescente preocupação mundial com as mudanças climáticas levou à criação de diretrizes nacionais relacionadas à redução dos impactos ambientais pela pecuária. Entre essas diretrizes está o Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura, também denominado Plano ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono). Segundo Cordeiro *et al.* (2011), o Plano ABC representa um conjunto de ações a serem implementadas para promover a “baixa” emissão de GEE pelo setor agropecuário. Essas ações consistem em expandir a adoção de tecnologias de produção sustentável, como, entre outras, a utilização dos sistemas de integração lavoura-pecuária (ILP) ou de lavoura-pecuária-floresta (ILPF) (Brasil, 2012). Portanto, os sistemas de

produção integrados são reconhecidos e recomendados pela política pública nacional como uma importante forma de reduzir as emissões de GEE pelo setor agropecuário.

A redução das emissões de GEE pelo uso dos sistemas integrados ocorre pelo desencadeamento de diversos processos, que podem ser divididos em dois grupos principais.

- 1.Redução das emissões relativas de CH₄ e N₂O pelos animais.
- 2.Compensação das emissões pelo sequestro de CO₂ atmosférico.

A presença de árvores no sistema modifica a relação e a magnitude desses processos. Portanto, é imprescindível discutir separadamente os sistemas de ILP e de ILPF em relação à mitigação dos GEE.

Integração lavoura-pecuária (ILP)

Os sistemas de ILP representam uma importante forma de intensificar os sistemas de produção e podem aumentar a sustentabilidade econômica e ambiental das propriedades (Thornton e Herrero, 2015). Esse processo ocorre principalmente pela elevação dos níveis produtivos do sistema como um todo, devido à interação de vários fatores, muitas vezes de difícil separação, como: melhor aproveitamento de corretivos e fertilizantes (Pacciullo *et al.*, 2017), melhoria das propriedades físicas do solo e quebra de ciclos bióticos (pragas, doenças) (Vilela *et al.*, 2011). Esses aspectos contribuem para uma melhoria das pastagens, o que permite maior capacidade de suporte, melhor desempenho dos animais e, portanto, redução das emissões de GEE por área e/ou por kg de produto. Herrero *et al.* (2013), em um estudo conduzido em países da África subsaariana, demonstraram que as intensidades de emissão de GEE podem ser significativamente reduzidas pelo uso dos sistemas de ILP. Esses autores constataram que, nos sistemas integrados, as emissões de CO₂ eq./kg de produto podem ser de 24 a 37% mais baixas do que as observadas nos sistemas de produção tradicionais baseados em monocultivo.

Assim como o aumento produtivo das pastagens, existe ainda outro aspecto potencial que pode reduzir as emissões indiretas de GEE pelo uso desse sistema. Trata-se da possibilidade de aproveitamento dos restos da cultura e dos resíduos de beneficiamento dos grãos produzidos na fase de lavoura na alimentação dos animais. O uso desses alimentos pode reduzir as emissões de combustíveis fósseis relacionadas ao transporte dos suplementos e pode aumentar o desempenho dos animais.

Esteves *et al.* (2012) avaliaram as emissões de CH₄ por bovinos de corte criados em pastagens formadas pelo sistema de integração lavoura-pecuária e terminados em sistema de confinamento. Nesse trabalho, o sistema de ILP foi implementado com a renovação de uma pastagem degradada com o plantio de milho ou sorgo, consorciados com *Urochloa brizantha* cv. Marandu ou *Urochloa brizantha* cv. Piatã. O milho e o sorgo utilizados na renovação da pastagem foram ensilados e usados no arraçamento dos animais no confinamento. Após três anos de avaliação, a estimativa média de emissão no sistema foi de 40,3 kg de CH₄/animal/ano. Os autores concluíram que a maior produção de carne e o maior GMD dos animais nesse tipo de sistema constituem uma importante estratégia para reduzir as emissões relativas de CH₄ ruminal.

Os resultados apresentados por Esteves *et al.* (2012) são de grande relevância, uma vez que se encontram abaixo dos valores de referência do IPCC (2019), que são de 56 kg/animal/ano em países da América Latina. Além disso, esses valores também são inferiores à média de diversos trabalhos que investigaram as emissões anuais de CH₄ por bovinos de corte em diferentes sistemas de produção. Nesse sentido, Almeida e Medeiros (2013) ampliaram um compilado de diversos estudos sobre as emissões de CH₄ em gado de corte no Brasil, realizado por Berndt (2010). Esses autores usaram dados conduzidos em sistemas de confinamento (Berchielli *et al.*, 2003; Pedreira *et al.*, 2004; Nascimento, 2007; Oliveira *et al.*, 2007; Possenti *et al.*, 2008), em sistemas de pastejo (Demarchi, 2003a; 2003b; Canesin *et al.*, 2007; 2009; Fontes *et al.*, 2011) e em sistemas integrados (Esteves *et al.*, 2012). Os dados estão agrupados na Tabela 1. A emissão média em kg CH₄/ano nesses 11 estudos foi de 48,8. Essa média também é menor do que os valores de referência do IPCC (2019). No entanto, é importante ressaltar que o desempenho observado nos animais experimentais (0,366 kg/animal/dia) é superior à média brasileira (Almeida e Medeiros, 2013).

Os sistemas de ILP também são reconhecidos pela elevada capacidade de compensar as emissões de GEE pelo aumento dos níveis de fixação (sequestro) do CO₂ atmosférico no solo. Esse processo ocorre devido ao aumento de produtividade das pastagens com elevação dos estoques de C sob a forma de matéria orgânica depositada nas raízes e na liteira (matéria orgânica na superfície do solo) (Braz *et al.*, 2013). O componente lavoura durante a fase de cultura desse sistema também possui relevância expressiva no sequestro total de C. Entretanto, a intensidade do sequestro do C é dependente do manejo de pastagens (Franzluebbbers e Stuedemann, 2009; Carvalho e Batello, 2009). A distribuição espaço-temporal e especialmente a intensidade do pastejo podem levar a diversas variações na

produção das pastagens (sequestro) e na produção animal (emissões) (Savian *et al.*, 2014; De Souza-Filho *et al.*, 2018).

Tabela 1. Resultados de emissão de CH₄ entérico obtidos com gado de corte em estudos conduzidos no Brasil

	Peso vivo (kg)	Ganho de peso (kg/d)	Fator de emissão (kg CH ₄ /ano)	Perda de energia (%EBI)	Tratamentos
	318	0,34	33	5	<i>U. brizantha</i> (inverno)
	333	0,41	34	6,3	<i>U. brizantha</i> (primavera)
	411	0,54	59	9,1	<i>U. brizantha</i> (verão)
	438	0,41	63	6,6	<i>U. brizantha</i> (outono)
Média	375	0,425	47,3	6,8	Fonte: Dermachi <i>et al.</i> (2003a; 2003b)
	467	0,27	46	7,3	100% silagem de sorgo
	459	0,33	55	6,2	70% silagem de sorgo + 30% concentrado
	456	0,31	51	5,4	40% silagem de sorgo + 60% concentrado
Média	461	0,303	50,7	6,3	Fonte: Berchielli <i>et al.</i> (2003a) Pedreira <i>et al.</i> (2004)
	216	0,22	18	4	Silagem de sorgo + 1,2% ureia
	214	0,32	25	3,5	40% Silagem de sorgo + 60% concentrado
Média	215	0,27	21,5	3,8	Fonte: Oliveira <i>et al.</i> (2007)
	402	0,33	49	6,2	Feno de <i>Urochloa</i> com 15 dias de maturação
	402	0,33	49	7,4	Feno de <i>Urochloa</i> com 45 dias de maturação
	402	0,34	50	9	Feno de <i>Urochloa</i> com 90 dias de maturação
Média	402	0,333	49,3	7,5	Fonte: Nascimento (2007)
	800	0,17	51	5,8	Feno (80% coast-cross + 20% leucena)
	800	0,16	48	5,5	Feno (50% coast-cross + 50% leucena)
	800	0,2	57	6,4	Feno (80% coast-cross + 20% leucena) + lev.
	800	0,16	46	5,1	Feno (50% coast-cross + 50% leucena) + lev.
Média	800	0,18	50,5	5,7	Fonte: Possenti <i>et al.</i> (2008)
	338	0,82	82,5	10	<i>U. brizantha</i> + suplemento diário
	338	0,61	92,5	9,5	<i>U. brizantha</i> + suplemento em dias úteis
	338	0,58	92,2	11,8	<i>U. brizantha</i> + suplemento em dias alternados
Média	338	0,67	89,1	10,4	Fonte: Canesin <i>et al.</i> (2007; 2009)
	200	0,2	41,1		<i>Megathyrus maximum</i> cv Mombaça
	200	0,56	42,1		Mombaça + suplemento proteico/energético
Média	200	0,38	41,6		Fonte: Fontes <i>et al.</i> (2011)
Média			40,3		ILP e confinamento Fonte: Esteves <i>et al.</i> (2012)
Média geral		0,366	48,8		

Fonte: Almeida e Medeiros (2013).

Ribeiro *et al.* (2019), em um estudo conduzido na região Sul do Brasil, avaliaram os efeitos da variação da intensidade de pastejo sobre as emissões e o sequestro de C em sistemas de ILP. A condição avaliada pelos autores consiste na rotação anual de culturas, com uso de aveia-preta (*Avena strigosa*) como pastagem, no inverno, e soja (*Glycine* sp.) para a produção de grãos, no verão. Foram avaliadas diferentes intensidades de pastejo com a manutenção da altura média da pastagem em pastejo contínuo: leve (30 cm), moderado (20 cm) ou intenso (10 cm), em comparação com a ausência de pastejo. Em cada cenário, foi realizada uma análise de ciclo da vida para determinar o potencial

líquido de aquecimento global (GWP) do sistema, pela diferença entre o total de CO₂ eq. emitido e fixado. Os maiores níveis de GWP foram observados no cenário intensivo, e os menores no moderado (Tabela 2). Esses resultados podem ser explicados pelos elevados níveis de C acumulados na matéria orgânica do solo no cenário moderado, que compensou até 98% das emissões totais. A intensidade de pastejo leve e a exclusão de pastejo mostraram-se menos eficientes (1,84 Mg CO₂ eq./ha/ano em média), principalmente pela diminuição do acúmulo de C no solo.

Tabela 2. Emissões anuais por ha de N₂O, de CH₄ e de CO₂ pela queima de combustíveis fósseis expressos em CO₂ eq., taxas anuais de sequestro anual de CO₂ atmosférico e potencial líquido de aquecimento global em pastagens de sistemas de ILP, manejadas com diferentes intensidades de pastejo

Parâmetro	Intensidade de pastejo			
	Sem pastejo	30 cm	20 cm	10 cm
Emissões CH ₄ solo	-52 b	-34 b	22 a	30 a
Emissões N ₂ O	1,083 a	791 a	916 a	1,083 a
Emissões CH ₄ entérico	—	952	1904	2,382
Emissões combustíveis fósseis – Operações na propriedade	1,424	1,424	1,424	1,424
Total emissões GEE	2,455	3,133	4,266	4,919
Sequestro anual de C no solo	-840 b	-1,040 b	-4,180 a	—
Potencial líquido de aquecimento global (GWP)	1,615 ab	2093 ab	86 b	4,919 a

Fonte: Adaptado de Ribeiro *et al.* (2019).

Os autores desse trabalho justificaram que o maior acúmulo de C com o uso moderado da pastagem provavelmente relaciona-se à fisiologia do crescimento da planta. Sob pastejo moderado, a biomassa da parte aérea foi restaurada sem limitar o crescimento das raízes, devido à manutenção de tecidos fotossinteticamente ativos no resíduo pós-pastejo (McSherry e Ritchie, 2013; Zhou *et al.*, 2018). No manejo intensivo, entretanto, houve maior consumo desses tecidos e de brotações na parte aérea pelos animais, o que pode ter reduzido o crescimento radicular (Abdalla *et al.*, 2018; McSherry e Ritchie, 2013; Zhou *et al.*, 2018). Dessa forma, o crescimento radicular pode ter cessado e levou ao menor sequestro de C no solo (Zhou *et al.*, 2018). Além disso, a emissão de novas brotações e perfilhos é favorecida no sistema de manejo moderado, o que justifica a maior deposição de C no solo em relação aos sistemas de pastejo leves ou ausentes.

Essa discussão evidencia a importância de se considerar a fisiologia vegetal no manejo de pastagens para garantir não só a longevidade e a produtividade, mas também um menor potencial de aquecimento global dos sistemas de ILP. Uma discussão mais detalhada sobre estoque de carbono no solo será apresentada no capítulo “Estoques de carbono em sistemas agropecuários ocupados com pastagem e lavoura”.

Integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF)

A inclusão de árvores nos sistemas de integração pode ser uma prática relevante para reduzir ainda mais os impactos ambientais da atividade pecuária (Lima *et al.*, 2019). Esses sistemas têm recebido maior enfoque pela elevada capacidade de capturar CO₂ atmosférico e armazenar o carbono no sistema (Lorenz e Lal, 2014). Tal processo ocorre principalmente pela transformação do CO₂ em biomassa vegetal do componente florestal (Souza *et al.*, 2019). Entretanto, à medida que as árvores crescem, mudanças no microclima tornam-se mais pronunciadas, o que pode reduzir o crescimento da cultura no sub-bosque (Lin *et al.*, 1999). Essa redução se deve ao sombreamento formado pela copa das árvores e pode ser maior ou menor, de acordo com o arranjo, a espécie e a quantidade de árvores no sistema (Santos *et al.*, 2018).

Além da redução produtiva, o sombreamento formado pelas árvores pode resultar em alterações na anatomia e na fisiologia das pastagens, para compensar a menor disponibilidade de luz (Niinemets *et al.*, 1998). Esse aspecto tem implicações variáveis, o que pode aumentar ou diminuir o valor nutritivo da pastagem consumida. Como exemplo, nos estudos conduzidos por Wilson e Wong (1982) e Samarakoon *et al.* (1990), pastagens sombreadas tiveram uma menor digestibilidade total, devido à menor concentração de carboidratos solúveis e à maior FDN. Já nos trabalhos conduzidos por Peri *et al.* (2007) e Abraham *et al.* (2014), pastagens cultivadas à sombra apresentaram maior valor nutritivo principalmente pelos aumentos no teor de proteína bruta.

Dessa forma, considerando-se as variações produtivas e nutricionais das pastagens, existem inconsistências quanto às respostas de desempenho animal e, portanto, das emissões de CH₄ totais e relativas nesses sistemas (Molina *et al.*, 2016). Além disso, o componente florestal pode levar a alterações no solo, especialmente na umidade e na temperatura (Neel *et al.*, 2016) e, portanto, no metabolismo microbiano do N (Lopes *et al.*, 2017; Lima *et al.*, 2019). Nesse sentido, a porcentagem de N da urina perdida como N₂O pode ser maior nos sistemas de ILPF (Bretas *et al.*, 2020). Entretanto, de um modo geral, observa-se que as emissões totais de GEE podem ser totalmente compensadas devido à elevada fixação do CO₂ atmosférico que ocorre nesses sistemas (Alves *et al.*, 2015). Essa condição pode ser observada em trabalhos que quantificaram as emissões totais de GEE e o sequestro de C em longos períodos de avaliação.

Souza *et al.* (2019), em um estudo com oito anos de duração, avaliaram o potencial dos sistemas de ILPF como uma estratégia para a compensação das emissões de GEE

para a pecuária brasileira. Nesse trabalho, os autores avaliaram as emissões de GEE e os estoques de C numa área sem árvores (ILP) e em outra área plantada com 417 árvores (eucalipto) por hectare (ILPF). Nos primeiros dois anos, as duas áreas foram destinadas à produção de grãos (fase silviagrícola na ILPF ou agrícola na ILP). Depois, tanto o sistema de ILP quanto o de ILPF (árvores mantidas) foram plantados com *Urochloa brizantha* e usados para a criação de animais de corte por mais seis anos. Nos dois primeiros anos, as emissões foram semelhantes nos dois sistemas, devido à baixa ou à nula interferência do componente florestal nessa fase inicial. Em média, a emissão anual de N₂O nos sistemas foi de 315 kg de CO₂ eq./ha nesse período (Oliveira *et al.*, 2017). Nos últimos seis anos, iniciaram-se as emissões de CH₄ entérico. Nesse período, as emissões de N₂O e CH₄ foram distintas entre os dois sistemas. Considerando-se o somatório total desses dois gases, a média final das emissões foi de 2.672 kg de CO₂ eq./ha/ano para o sistema de ILPF e de 4.072 kg de CO₂ eq./ha/ano para o sistema de ILP.

Portanto, houve uma redução de 34% nas emissões médias de CO₂ eq./ha/ano pela inclusão do componente arbóreo no sistema de integração. Entretanto, a interpretação desses resultados deve ser criteriosa, uma vez que essas diferenças podem ser atribuídas a variações na taxa de lotação observadas em cada sistema. No sistema de ILPF, a taxa de lotação foi de 1,1 UA/ha; já no ILP, foi de 2,0 UA/ha (Guimarães Júnior *et al.*, 2016). Essa diferença pode ser atribuída à menor taxa de acúmulo das pastagens manejadas sob a copa das árvores. Assim, o menor número de animais resultou em menor emissão de CO₂ eq./ha/ano, principalmente pela redução na produção de CH₄ entérico nos sistemas de ILPF.

Apesar dessas implicações, os autores calcularam que o sequestro de C foi suficiente para anular as emissões totais de GEE nos dois sistemas. O balanço positivo de C no sistema de ILP demonstra que o sistema de produção bem manejado tende a emitir menos C do que acumula, situação já discutida no tópico anterior. No entanto, Souza *et al.* (2019) pontuam que a taxa de acúmulo de C no solo tende a estabilizar com o tempo. Essa condição ocorre justamente quando o estoque de C no solo se aproxima dos valores originais observados na vegetação nativa. A partir desse momento, portanto, o acúmulo de C tenderá a ser nulo, visto que o solo estará próximo da sua capacidade máxima de sequestro de C. Esses aspectos favorecem os sistemas de ILPF, uma vez que uma única árvore mantida no sistema pode fixar até 110,5 kg de CO₂/ano da atmosfera. Desse modo, os autores concluíram que o uso de 15% da área total de pastagem no sistema de ILPF,

numa densidade de 417 árvores/ha, seria suficiente para compensar todas as emissões de CH₄ e N₂O por animais de recria e ainda fornecer um saldo positivo de C na propriedade.

Um aspecto relevante que não foi abordado no estudo de Souza *et al.* (2019) diz respeito às emissões de GEE/peso vivo ou por kg de produto nos sistemas de ILPF em comparação com outros sistemas de produção. Essa avaliação é importante, considerando-se os possíveis impactos do componente arbóreo nas pastagens sombreadas, o que pode reduzir a produtividade por área e a capacidade de suporte.

Nesse sentido, De Figueiredo *et al.* (2016) avaliaram o balanço de GEE (emissões menos drenos) e as emissões por kg de peso vivo por bovinos de corte a pasto no Brasil. O estudo foi conduzido em um período de 10 anos, e os cenários investigados foram: pastagem degradada; pastagem manejada intensivamente (corrigida e adubada) e pastagem integrada com agricultura e floresta (ILPF). Todos os cenários foram baseados em gramíneas do gênero *Urochloa*, e o sistema de ILPF utilizado tinha uma densidade de 476 árvores (eucalipto)/ha. O maior valor de emissão por kg peso vivo foi constatado no sistema degradado, com 18,5 kg CO₂ eq., seguido por 12,6 kg CO₂ eq. no sistema de ILPF e por 9,4 kg CO₂ eq. no sistema de pastagem intensiva. Entretanto, quando se considerou o sequestro de C, as emissões reduziram para - 28,1 kg CO₂ eq./kg peso vivo no sistema de ILPF. Ou seja, o sequestro de carbono superou as emissões de GEE, gerando créditos de C. Essa situação ocorreu apenas no sistema de ILPF.

Portanto, os sistemas de ILPF apresentam menores emissões por kg de peso vivo do que sistemas degradados. Além disso, o elevado sequestro de C pela presença do componente arbóreo no sistema de ILPF compensa a maior emissão por kg peso vivo quando se compara com as emissões nas pastagens manejadas intensivamente e em monocultivo.

Outros trabalhos avaliaram indicadores de desempenho específicos em sistemas conduzidos em situações climáticas distintas. Pontes *et al.* (2018) avaliaram as emissões de GEE/kg de GMD em novilhas de corte mantidas nos sistemas de ILP ou de ILPF formados com forrageiras de inverno na região Sul do Brasil. Os sistemas baseavam-se em pastagem de azevém (*Lolium multiflorum*) e de aveia-preta (*Avena strigosa*), no inverno, em rotação com soja (*Glycine* sp.) ou milho, no verão. Portanto, foram considerados aproximadamente 100 dias de pastejo por ano. No sistema de ILPF, foram utilizadas 159 árvores/ha (eucalipto e carvalho-prateado), com idades entre seis e oito anos. No sistema de ILPF, houve uma redução do crescimento das pastagens e do desempenho animal (GMD 32% menor). Dessa forma, houve um aumento proporcional

das emissões nesse sistema. Em termos de CO₂ eq., os valores obtidos foram de 4,2 kg CO₂ eq./GMD nos sistemas de ILP e de 6,0 kg CO₂ eq./GMD no sistema de ILPF, o que representa uma diferença de 42%. Portanto, a redução da eficiência produtiva nos sistemas de ILPF pode aumentar as emissões relativas de GEE.

Além disso, os autores também discutiram que o sequestro de C por uma árvore implantada no sistema tem potencial para compensar, em oito anos de sequestro, todas as emissões anuais/ha de CH₄ pelos animais nesse sistema (média de 2,1 UA/ha). Essa condição pode ser relacionada ao período de utilização da pastagem ao longo do ano (apenas 100 dias), o que reduz as emissões anuais de CH₄ entérico.

O efeito do uso de sistemas integrados também foi investigado em sistemas de produção de leite. Cunha *et al.* (2016) quantificaram as emissões totais de GEE e o balanço de C (emissões totais ao longo da cadeia produtiva menos o C estocado) em sistemas de produção de leite em semiconfinamento e em sistemas silvipastoris. O sistema silvipastoril baseou-se em um pastejo rotacionado formado com *Megathyrus maximum* cv. Mombaça em associação com eucalipto. Os autores encontraram que, quando se consideram os drenos de C, os dois sistemas possuem potencial de zerar as emissões de CO₂ eq. e ainda gerar créditos de C na cadeia de produção de leite. É importante considerar que, além do sequestro pelo eucalipto no sistema integrado, os estoques de C foram avaliados em todas as culturas relacionadas à produção de alimentos para os animais (milho, cana e pastagem), nos dois sistemas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A redução das emissões de GEE no setor pecuário pode ser alcançada por meio da intensificação e do aumento de produtividade dos sistemas produtivos. Com esse objetivo, diversas estratégias relevantes que envolvam o manejo dos rebanhos e abordagens nutricionais podem ser usadas, com um amplo suporte técnico-científico disponível na literatura.

Os sistemas de integração apresentam diversos aspectos favoráveis à redução das emissões de GEE. Esses aspectos relacionam-se principalmente à redução das emissões relativas nos sistemas de ILP e à expressiva capacidade de compensação dessas emissões nos sistemas de ILPF. Portanto, os sistemas de integração representam uma importante estratégia de redução dos impactos ambientais pelo setor pecuário.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdalla, M. *et al.* Critical review of the impacts of grazing intensity on soil organic carbon storage and other soil quality indicators in extensively managed grasslands. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 253, p. 62–81, 2018.
- Abraham, E. M. *et al.* Growth dry matter production, phenotypic plasticity, and nutritive value of three natural populations of *Dactylis glomerata* L. under various shading treatments. *Agroforestry Systems*, v. 88, p. 287–299, 2014.
- Almeida, M. M. T. B. *et al.* Para Onde Vai a Pecuária Bovina Brasileira? In *Anais do 56 Congresso SOBER - Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural*. Campinas – SP, 2018.
- Almeida, R. G.; Medeiros, S. R. Emissão de gases de Efeito Estufa em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. In: Nicodemo, M. L. F.; Melotto, A. M. *sistemas agroflorestais e desenvolvimento sustentável 10 anos de pesquisa*, 2013, Campo Grande. Anais... Campo Grande: SAF's: Embrapa Gado de Corte. 2013. 33p
- Alves, F. V.; Almeida, R. G.; Laura, V. A. *Carne Carbono Neutro: um novo conceito para carne sustentável produzida nos trópicos*. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2015. (Embrapa Gado de Corte. Documentos, 210).
- Anjos, A. J. D. *et al.* Forage mass and morphological composition of Marandu palisade grass pasture under rest periods. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 40, p. 79-86, 2016. DOI: 10.1590/S1413-70542016000100007.
- Araújo, J. M. A. *Química de Alimentos - Teoria e Prática – Óleos Essenciais*. Ed. Impr. Univ. UFV: Viçosa, MG, 1995.
- Archimede, H., *et al.* Comparison of methane production between C3 and C4 grasses and legumes. *Animal Feed Science and Technology*, v. 166–167 p. 59–64, 2011.
- Beauchemin, K. A. *et al.* Life cycle assessment of greenhouse gas emissions from beef production in western Canada: A case study. *Agricultural Systems*, v. 103, n. 6, p. 371-79, 2010.
- Beck, M. R. *et al.* Fat supplements differing in physical form improve performance but divergently influence methane emissions of grazing beef cattle. *Animal Feed Science and Technology*, v. 254, n. 114210, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2019.114210>
- Benaouda, M. *et al.* Evaluation of the performance of existing mathematical models predicting enteric methane emissions from ruminants: Animal categories and dietary mitigation strategies. *Animal Feed Science and Technology*, v.255, n. 114207, 2019.
- Benchaar, C.; Greathead, H., Essential oils and opportunities to mitigate enteric methane emissions from ruminants. *Animal Feed Science and Technology*, v. 166–167, p. 338–355, 2011.
- Benchaar, C. *et al.* A review of plant-derived essential oils in ruminant nutrition and production. *Animal Feed Science and Technology*, v. 145, p. 209–228, 2008.
- Benchaar, C. *et al.* Effects of increasing amounts of corn dried distillers grains with solubles in dairy cow diets on methane production, ruminal fermentation, digestion, N balance, and milk production. *Journal of Dairy Science*, v. 96, n. 4, p. 2413-2427, 2013.
- Berchielli, T. T. *et al.* Determinação da produção de metano e pH ruminal em bovinos de corte alimentados com diferentes relações volumoso:concentrado. In: Reunião da Sociedade Brasileira de Zootecnia, Santa Maria. *Anais...* Santa Maria: UFSM; SBZ, p. 1-3, 2003.

- Berchielli, T. T.; Messana, J. D.; Canesin, R. C. Produção de metano entérico em pastagens tropicais. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, Salvador, v.13, n.4, p.954-968, 2012.
- Bernt, A. Impacto da pecuária de corte brasileira sobre os gases do efeito estufa. In: Simpósio de Produção de gado de corte. *Anais...* Viçosa: UFV, p. 121-148, 2010
- Beukes, PC, *et al.* Improving production efficiency as a strategy to mitigate greenhouse gas emissions on pastoral dairy farms in New Zealand. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 136, n. 3, p. 358-65, 2010.
- Bielak, A. *et al.* Body fat mobilization in early lactation influences methane production of dairy cows. *Scientific Reports*, v. 6, n. 28135, 2016. DOI: 10.1038/srep28135
- Bodas, R. *et al.* Manipulation of rumen fermentation and methane production with plant secondary metabolites. *Animal Feed Science and Technology* v. 176, p. 78– 93, 2012.
- Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. *Plano setorial de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas para a consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na agricultura: Plano ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono)*, Brasília, DF, 2012. 172 p.
- Braz, S. P. *et al.* Soil Carbon Stocks under Productive and Degraded *Brachiaria* Pastures in the Brazilian Cerrado. *Soil & Water Management & Conservation*, v. 77, p. 914-928, 2013. DOI: 10.2136/sssaj2012.0269
- Bretas, I. L. *et al.* Nitrous oxide, methane, and ammonia emissions from cattle excreta on *Brachiaria decumbens* growing in monoculture or silvopasture with *Acacia mangium* and *Eucalyptus grandis*. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 295, n. 106896, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.106896>
- Burt, S. Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods—a review. *Journal of Food Microbiology*, v. 94, p. 223–253, 2004.
- Canesin, R. C. *et al.* Desempenho de bovinos de corte mantidos em pastagem de capim-marandu submetidos a diferentes estratégias de suplementação na período das águas e da seca. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 36, n. 2, p.411-420, 2007.
- Canesin, R. C. *et al.* Efeito da frequência da suplementação na produção de metano entérico de bovinos mantidos em pastagens tropicais. In: Reunión da Asociación Latinoamericana de Producción Animal, San Juan. *Memorias...* Porto Rico: ALPA, v. 17, p. 257-261, 2009.
- Capper, J. L. The environmental impact of beef production in the United States: 1977 compared with 2007. *Journal of Animal Science*, v. 89, n. 12, p. 4249-61, 2011.
- Cardoso, A. S. *et al.* Impact of the intensification of beef production in Brazil on greenhouse gas emissions and land use. *Agricultural Systems*, v. 143, p. 86–96, 2016.
- Carvalho, P. C. F.; Batello, C. Access to land, livestock production and ecosystem conservation in the Brazilian Campos biome: the natural grasslands dilemma. *Livestock Science*, v. 120, p. 158-162, 2009.
- Chang, J. *et al.* Revisiting enteric methane emissions from domestic ruminants and their $\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4}$ source signature. *Nature Communications*, v. 10, n. 3420, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1038>
- Chirinda, N. *et al.* Adequate vegetative cover decreases nitrous oxide emissions from cattle urine deposited in grazed pastures under rainy season conditions. *Science Reports*, v. 9, n 908, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-37453-2>

- Cobellis, G.; Trabalza-Marinucci, M.; Yu, Z. Critical evaluation of essential oils as rumen modifiers in ruminant nutrition: A review. *Science of the Total Environment*, p. 545-568, 2016.
- Cottle, D. J.; Nolan, J. V.; Wiedemann, S. G. Ruminant enteric methane mitigation: a review. *Animal Production Science*, v. 51, p. 491-514, 2011.
- Cunha, C.S. *et al.* Greenhouse gases inventory and carbon balance of two dairy systems obtained from two methane-estimation methods. *Science of the Total Environment*, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.07.046>
- Dall-Orsoletta, A. C. *et al.* Enteric methane emission from grazing dairy cows receiving corn silage or ground corn supplementation. *Animal Feed Science and Technology*, v. 253, p. 65-73, 2019.
- De Figueiredo E. B. *et al.* Greenhouse gas balance and carbon footprint of beef cattle in three contrasting pasture-management systems in Brazil. *Journal of Cleaner Production*, 2016. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.03.132.
- De Souza Filho, W. *et al.* Mitigation of enteric methane emissions through pasture management in integrated crop-livestock systems: Trade-offs between animal performance and environmental impacts. *Journal of Cleaner Production*, v. 213, p. 968-975, 2019. DOI:10.1016/j.jclepro.2018.12.245
- Demarchi, J. J. A. A. *et al.* Daily methane emission at different seasons of the year by Nelore cattle in Brazil grazing *Brachiaria brizantha* cv. Marandu preliminary results. In: World Conference on animal production, Porto Alegre. *Contributed papers abstracts...* Porto Alegre: WAAP; ALPA; SBZ; UFRS, p. 19, 2003a.
- Demarchi, J. J. A. A. *et al.* Preliminary results on methane emission by Nelore cattle in Brazil grazing *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. In: International Methane & Nitrous Oxide Mitigation Conference, Beijing, China. *Proceedings...* Beijing: China Coal Information Institute, p 80-82, 2003b
- Deramus, H. A. *et al.* Methane Emissions of Beef Cattle on Forages. *Journal of Environmental Quality*, v. 32, p. 269-277, 2003. DOI: <https://doi.org/10.2134/jeq2003.2690>
- Dias-Filho, M. B. Degradação de pastagens o que é e como evitar. Brasília-DF, 2017. Disponível em: <http://www.embrapa.br/amazonia-oriental/publicacoes>. Acesso em 30 de mar. 2020.
- Dias-Filho, M. B. Diagnóstico das Pastagens no Brasil. Belém-PA, 2014. Disponível em: www.cpatu.embrapa.br/publicacoes online. Acesso em 30 de mar. 2020
- Effect of dried distillers' grains with solubles on greenhouse gas emissions from beef cattle. Edmonton, Alberta: University of Alberta, Department of Agricultural, Food and Nutritional Science. *M. Hünerberg - 2014 - Tese*, 200p. (Doctor of Philosophy in Animal Science).
- Emissão de metano por bovinos nelore ingerindo *Brachiaria brizantha* em diferentes estádios de maturação. Pirassununga: Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia/USP, 2007. *C. F. M, Nascimento - Dissertação de mestrado em nutrição e produção animal* 65 p.
- Esteves, S. N. *et al.* Estimativas da emissão de metano por bovinos criados em sistema de integração lavoura-pecuária em São Carlos, SP. In: 48ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia O Desenvolvimento da Produção Animal e a Responsabilidade Frente a Novos Desafios. *Anais...* Belém: SBZ, 2011
- Fontes, C. A. A. *et al.* Emissão de metano por bovinos de corte suplementados ou não, em pastagem de capim Mombaça (*Panicum maximum* cv. Mombaça) In: Reunião anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, Belém. *Anais...* Belém: SBZ, p. 1-3, 2011.

Franzluebbers, A. J.; Stuedemann J. A. Soil-profile organic carbon and total nitrogen during 12 years of pasture management in the Southern Piedmont USA. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 129, p. 28-36, 2009.

Gonçalves, L. C. *et al.* Classificação Dos Alimentos. In: Gonçalves, L. C., Borges, I., E Ferreira, P. D. S. *Alimentos para gado de leite*. Belo Horizonte: FEPMVZ, 2009. Cap 1, p 1-7.

Guimarães Júnior, R. *et al.* Neutralization of enteric methane emissions by carbon sequestration under integrated crop-livestock and crop-livestock-forest systems in Cerrado region. In: Simpósio Internacional Sobre Gases De Efeito Estufa Na Agropecuária, 2, 2016, Campo Grande. *Anais...* Campo Grande: Embrapa, 2016.

Guimarães Júnior, R. *et al.* Produção animal na integração lavoura-pecuária. In: Simpósio Mineiro De Nutrição De Gado De Leite, Belo Horizonte. *Anais...* Belo Horizonte: UFMG, 2010. p. 111-123.

Hendriks, J.; Scholtz, M. M.; Naser, F. W. C. Possible reasons for differences in residual feed intake: An overview. *South African Journal of Animal Science*. n. 43, 2013.

Herrero, M. *et al.* Global livestock systems: Biomass use, production, feed efficiencies and greenhouse gas emissions. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, v. 110, p. 20888–20893, 2013.

Hiablie, S. A. *et al.* A life cycle assessment of the environmental impacts of a beef management in integrated crop-livestock systems: Trade-offs between animal performance and environmental impacts. *Journal of Cleaner Production*, v. 213, p. 968-975, 2019.

Hristov, A. N. *et al.* Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: I. A review of enteric methane mitigation options. *Journal of Animal Science*, v. **91**, p. 5045–5069, 2013.

Hünerberg, M. *et al.* Effect of dried distillers' grains plus solubles on enteric methane emissions and nitrogen excretion from growing beef cattle. *Journal of Animal Science*, v. 91, p. 2846–2857, 2013.

Hungate, R. E. *The Rumen and its Microbes*. Academic Press, New York, NY. 1966.

IPCC - Intergovernmental Panel On Climate Change. *Greenhouse Gas Inventory Reference Manual, 4. Intergovernmental Panel on Climate Change, 2006*. Guidelines for national greenhouse gas inventories, 2006 Disponível em: <http://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>

IPCC - Intergovernmental Panel On Climate Change. *Refinement to the 2006 IPCC*. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 2019. Disponível em <https://www.ipcc.ch/report/2019-refinement-to-the-2006-ipcc-guidelines-for-national-greenhouse-gas-inventories/>. Acesso em: 25 de mar de 2020.

Jião, H. P. *et al.* Effect of concentrate feed level on methane emissions from grazing dairy cows. *Journal of dairy science*, v. 97, p. 1–11, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2014-7979>

Johnson, D. E.; Ward, G. M. Estimates of animal methane emissions. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 42, p. 133-141, 1996.

Johnson, K. A.; Johnson, D. E. Methane Emissions from Cattle. *Journal of Animal Science*, v. 73, p. 2483-2492, 1995.

Jorge, A. M. *Ganho de peso, conversão alimentar e características da carcaça de bovinos e bubalinos*. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa: UFV, 1993. 97p.

Kim, W. Y. *et al.* Effects of *Cordyceps militaris* on the growth of rumen microorganisms and in vitro rumen fermentation with respect to methane emissions. *Journal of dairy science*, v. 97, n. 11, p. 7065–7075, 2014.

- Knapp, Jr. *et al.* Invited review: Enteric methane in dairy cattle production: Quantifying the opportunities and impact of reducing emissions. *Journal of dairy science*, v. 97, n. 6, p. 3231–3261, 2014.
- Kolling, G. J. *et al.* Performance and methane emissions in dairy cows fed oregano and green tea extracts as feed additives. *Journal of dairy science*, v. 101, n. 5, p. 4221–4234, 2018.
- Léis, C. M. *et al.* Carbon footprint of milk production in Brazil: a comparative case study. *International Journal of Life Cycle Assessment*, v. 20, p. 46–60, 2014. DOI: 10.1007/s11367-014-0813-3
- Li, Z. J. *et al.* Dynamics of methanogenesis, ruminal fermentation, and alfalfa degradation during adaptation to monensin supplementation in goats. *Journal of dairy science*, v. 101, n. 2, p.1048-1059, 2018.
- Lima, D. M. *et al.* Morphological characteristics, nutritive quality, and methane production of tropical grasses in Brazil. *Pesquisa agropecuária brasileira*, Brasília, v.53, n.3, p.323-331, 2018.DOI: 10.1590/S0100-204X2018000300007
- Lima, M. A. *et al.* Productivity and nutritive value of *Brachiaria decumbens* and performance of dairy heifers in a long- term silvopastoral system. *Grass Forage Science*, v. 74, p. 160–170, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1111/gfs.12395>.
- Lin, C. H. *et al.* Shade effects on forage crops with potential in temperate agroforestry practices. *Agroforestry Systems*, v. 44, p. 109–119, 1999.
- Liu, Z. *et al.* Enteric methane conversion factor for dairy and beef cattle: effects of feed digestibility and intake level. *Transactions of ASABE*, v. 60, p. 459-464, 2017. DOI: 10.13031/trans.11744.
- Lopes, C. M. *et al.* Massa de forragem, composição morfológica e valor nutritivo de capim braquiária submetido a níveis de sombreamento e fertilização. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v. 69, p. 225–233, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-4162-9201>.
- López, M. C. *et al.* Use of dry citrus pulp or soybean hulls as a replacement for corn grain in energy and nitrogen partitioning, methane emissions, and milk performance in lactating Murciano-Granadina goats. *Journal of Dairy Science*, v. 97, n. 12, p. 7821-7832, 2014. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8424>
- Lorenz, K.; Lal, R. Soil organic carbon sequestration in agroforestry systems. *Agronomy for Sustainable Development*. v. 34, n. 2, p. 443-454, 2014.
- Lovett, D. K. *et al.* Manipulating Enteric Methane Emissions and Animal Performance of Late-Lactation Dairy Cows Through Concentrate Supplementation at Pasture. *Journal of Dairy Science*, v. 88, n. 8, p. 2836-2842, 2005.
- Machado, F. S.; Pereira, L. G. R.; Guimarães Jr. R. *et al.* Emissões de metano na pecuária: conceitos, métodos de avaliação e estratégias de mitigação. *Embrapa Gado de Leite*. Juiz de Fora - MG, 2011.
- Marcos, C. N. *et al.* Effects of agroindustrial by-product supplementation on dairy goat milk characteristics, nutrient utilization, ruminal fermentation, and methane production. *Journal of Dairy Science*, v. 103, n. 2, p. 1472-1483, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17386>
- Marquat, W. R. Dairy beef in packing industry. *Journal of Dairy Science*, v. 47, n. 10, p.1145-9, 1964.
- Mcherry, M. E.; Ritchie, M. E. Effects of grazing on grassland soil carbon: A global review. *Global Change Biology*, v. 19, p. 1347–1357, 2019.
- Moe, P. W.; H. F. Tyrrell. Methane production in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, v. 62 p. 1583–1586, 1979.

- Moletta, J. L.; Restle, J. Características de carcaça de novilhos de diferentes grupos genéticos terminados em confinamento. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 25, n. 5, p. 876-88, 1996.
- Molina, I. C. *et al.* Effect of *Leucaena leucocephala* on methane production of Lucerna heifers fed a diet based on *Cynodon plectostachyus*. *Livestock Science*, v. 185, p. 24–29, 2016.
- Morais, J. A. S.; Berchielli, T. T.; Reis, R. A. Aditivos. In: Berchielli, T. T.; Pires, A. V.; Oliveira, S.G. *Nutrição de ruminantes*. Jaboticabal: FUNEP, 2006. p. 111-140.
- Moss, A. R.; Jouany, J.; Newbold, J. Methane production by ruminants: its contribution to global warming. *Annales de Zootechnie*, v. 49, n. 3 p. 231-253, 2000.
- Mousquer, C. J. *et al.* Metabolismo visceral e eficiência do uso da energia por animais taurinos e zebuínos. *Pubvet*, Londrina, v. 8, n. 5, 2014.
- Nagaraja, T. G. *et al.* Manipulation of ruminal fermentation. The rumen microbial ecosystem. Edited by P. N. Hobson and C. S. Stewart, Second Edition, p. 524-632, 1997.
- Neel, J. P. S. *et al.* Open pasture, silvopasture and sward herbage maturity effects on nutritive value and fermentation characteristics of cool-season pasture. *Grass Forage Science*, v. 71, p. 259–269, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1111/gfs.12172>.
- Nelson, C. J.; Moser, L. E. Plant factors affecting forage quality. In: FAHEY Jr., G. C. (Ed). Forage quality, evaluation and utilization. Madison: *American Society of Agronomy*, p. 115-154, 1994.
- Nguyen, T. L. T.; Hermansen, J. E.; Mogensen, L. Environmental consequences of different beef production systems in the EU. *Journal of Cleaner Production*, v. 18, n. 8, p. 756-66, 2010.
- Niinemets, U.; Kull, O.; Tenhunen, J. D. Analysis of light effects on foliar morphology, physiology and light interception in temperate deciduous woody species of contrasting shade tolerance. *Tree Physiology*, v. 18, p. 681–696, 1998
- O'Mara, F. P. The significance of livestock as a contributor to global greenhouse gas emissions today and in the near future. *Animal Feed Science and Technology*, v. 166, p. 7-15, 2011.
- O'Neill, B. F. *et al.* The effects of supplementing grazing dairy cows with partial mixed ration on enteric methane emissions and milk production during mid to late lactation. *Journal of Dairy Science*, v. 95, p. 6582–6590, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2011-5257>
- Oliveira, P. P. A. *et al.* Balanço e emissões de gases de efeito estufa em sistemas integrados. In: Congresso Brasileiro De Sistemas Integrados De Produção Agropecuária, 1.; Encontro De Integração Lavoura-Pecuária No Sul Do Brasil, 4., Pato Branco, 2017, *Intensificação com sustentabilidade*. Cascavel: UTFPR, p. 23-32, 2017.
- Oliveira, S. G. *et al.* Effect of tannin levels in sorghum silage and concentrate supplementation on apparent digestibility and methane emission in beef cattle. *Animal Feed Science and Technnology*, v. 135, n. 5 p. 236-248, 2007.
- Paciullo, D. S. C. *et al.* Oportunidades e desafios dos sistemas integrados na produção. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, v. 25, p. 25-35, 2017.
- Paganoni, B. *et al.* More feed efficient sheep produce less methane and carbon dioxide when eating high-quality pellets, *Journal of Animal Science*, v. 95, n. 9, p. 3839–3850, 2017. DOI: <https://doi.org/10.2527/jas.2017.1499>

Parente, L.; Ferreira, L. Assessing the spatial and occupation dynamics of the Brazilian pasturelands based on the automated classification of MODIS Images from 2000 to 2016. *Remote Sens.* v. 10, p. 1-14, 2018.

Pedreira, C. G. S.; Silva, L. S.; Alonso, M. P. Use of grazed pastures in the Brazilian livestock industry: a brief overview. In: Evangelista, A.R., Avila, C. L. S., Casagrande, D. R.; Lara, M. A. S. E Bernardes, T. F. (Eds.), *Proceedings of the 1st International Conference on Forages in Warm Climates*. Lavras, MG, Brazil, 1-3 p. 7-17, 2015.

Pedreira, M. S. *et al.* Produção de metano e concentração de ácidos graxos voláteis ruminal em bovinos alimentados com diferentes relações de volumoso: concentrado. In *Reunião da Sociedade Brasileira de Zootecnia, Campo Grande. Anais...* Campo Grande: Embrapa, SBZ, p. 1-3, 2004.

Pelletier, N.; Pirog, R.; Rasmussen, R. Comparative life cycle environmental impacts of three beef production strategies in the upper Midwestern United States. *International Journal of Life Cycle Assessment*, v. 103, p. 380-389, 2010.

Pereira, L. G. R. *et al.* Enteric methane mitigation strategies in ruminants: a review. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* v. 28 p. 124-143, 2015.

Peri, P. L.; Lucas, R. J.; Moot, D. J. Dry matter production, morphology and nutritive value of *Dactylis glomerata* growing under different light regimes. *Agroforestry Systems*, v. 70, p. 63-79, 2007.

Pontes, L. S. *et al.* Performance and methane emissions by beef heifer grazing in temperate pastures and in integrated crop-livestock systems: The effect of shade and nitrogen fertilization. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 253, p. 90-97, 2018.

Possenti, R. A. *et al.* Efeitos de dietas contendo *Leucaena leucocephala* e *Saccharomyces cerevisiae* sobre a fermentação ruminal e a emissão de gás metano em bovinos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 37, n. 8, p. 1509-1516, 2008.

Ribeiro, R, H *et al.* Managing grazing intensity to reduce the global warming potential in integrated crop-livestock systems under no-till agriculture. *European Journal of Soil Science*, p. 1-12, 2019. DOI: 10.1111/ejss.12904

Richardson, C. Breeding for efficiency: Investigating dairy cattle efficiency traits and future implementation strategies. *Journal of Animal Science*, v. 96, p. 119-120, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1093/jas/sky404.263>.

Rocha, E. O. *et al.* Ganho de peso, eficiência alimentar e características da carcaça de novilhos de origem leiteira. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 28 n. 1, 1999.

Rotz, C. A.; Asem-Hiablie, S.; Dillon, J.; Bonifacio, H. Cradle-to-farm gate environmental footprints of beef cattle production in Kansas, Oklahoma, and Texas. *Journal of Animal Science*, v. 93, p. 2509-2519, 2015.

Rotz, C. A.; Montes, F. E Chianese D. S. The carbon footprint of dairy production systems through partial life cycle assessment. *Journal of Dairy Science*, v. 93, p. 1266-1282, 2010.

Samarakoon, S. P.; Wilson, J. R.; Shelton, H. M. Growth, morphology and nutritive value of shaded *Stenotaphrum secundatum*, *Axonopus compressus* and *Pennisetum clandestinum*. *Journal of Agricultural Science*, v. 114, p. 161-169, 1990.

Santos, A. G. T.; Vieira, A. R. Alturas De Pastejo Recomendadas Para As Principais Forrageiras Considerando 95% De Interceptação Luminosa. *Cadernos de Pós-Graduação da FAZU*, v. 2, 2011.

- Santos, D. C. *et al.* Implementation of silvopastoral systems in Brazil with *Eucalyptus urograndis* and *Brachiaria brizantha*: Productivity of forage and an exploratory test of the animal response. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 266, p. 174-180, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.07.017>.
- Savian, J. V. *et al.* Grazing intensity and stocking methods on animal production and methane emission by grazing sheep: implications for integrated crop–livestock system. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 190, p. 112-119, 2014.
- Schingoethe, D. J. *et al.* Invited review: The use of distillers' products in dairy cattle diets. *Journal of Dairy Science*, v. 92, p. 5802–5813, 2009.
- Shang, X. *et al.* Prediction of effects of dairy selection indexes on methane emissions. *Journal of Dairy Science*, v. 102, p. 11153–11168, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16943>
- Souza, K. W.; Pulrolnik, K.; Guimaraes Junior, R.; Marchao, R. L.; Vilela, L.; Carvalho, A. M. De; Maciel, G. A.; Moraes Neto, S. P. De; Oliveira, A. D. De. Integração lavoura-pecuária-floresta como estratégia para compensação das emissões de gases de efeito estufa. Planaltina-DF, 2019. Disponível em: <https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/?initQuery=t>. Acesso em 30 de mar. 2020
- Souza Filho, W. *et al.* Mitigation of enteric methane emissions through pasture system in the USA 2018. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. v. 24, p. 441–455, 2019.
- Stackhouse-Lawson, K. R. *et al.* Carbon footprint and ammonia emissions of California beef production systems. *Journal of Animal Science*, v. 90, p. 4641–4655, 2012.
- Taiz, L.; Zieger, E. Metabólitos secundários e defesa vegetal. In: *Fisiologia vegetal*. 3. Ed. Porto Alegre: Artmed. Cap. 13, p 309-334, 2004.
- Tedeschi, L. O.; Fox, G. D.; Tylutki, T. P. Potential Environmental Benefits of Ionophores in Ruminant Diets. *Journal of Environmental Quality*, v. 32, n. 5 DOI: <https://doi.org/10.2134/jeq2003.1591>
- Thornton, P.; Herrero, M. Adapting to climate change in the mixed crop and livestock farming systems in sub-Saharan Africa. *Nature Climate Change*, v. 5, p. 830–836, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1038/nclimate2754>
- Ugbogu, E. A. *et al.* The potential impacts of dietary plant natural products on the sustainable mitigation of methane emission from livestock farming. *Journal of Cleaner Production*, v. 213, p. 915–925, 2019.
- Van Groenigen, J. W. *et al.* Nitrous oxide emission from urine treated soil as influenced by urine composition and soil physical conditions. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 37, p. 463–473, 2005.
- Vanlierde, A. *et al.* Hot topic: Innovative lactation-stage-dependent prediction of methane emissions from milk mid-infrared spectra. *Journal of Dairy Science*, v. 98, p. 5740–5747, 2015.
- Vargas, J. E. *et al.* Dietary supplemental plant oils reduce methanogenesis from anaerobic microbial fermentation in the rumen. *Scientific Reports*. v. 10, n. 1613, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-58401-z>
- Vilela, L. *et al.* Sistemas de integração lavoura-pecuária na região do Cerrado. *Pesquisa agropecuária Brasileira*, v. 46, n.10, Brasília, 2011.
- Wall, E.; Coffey, M. P.; Pollott, G. E. The effect of lactation length on greenhouse gas emissions from the national dairy herd. *Animal*, v. 6, p. 1857–1867, 2012
- Weidema, B. P. *et al.* Environmental Improvement Potentials of Meat and Dairy Products. *Scientific and Technical Research*, Luxembourg. 2008. DOI: 10.2791/38863

White, R. R.; Capper, J. L. An environmental, economic, and social assessment of improving cattle finishing weight or average daily gain within US beef production. *Journal of Animal Science*, v. 91, n. 12, p. 5801-12, 2013.

Wiedemann, S. *et al.* Environmental impacts and resource use of Australian beef and lamb exported to the USA determined using life cycle assessment. *Journal of Clean Production* v. 94, p. 67–75, 2015.

Williams, S. R. O *et al.* Influence of feeding supplements of almond hulls and ensiled citrus pulp on the milk production, milk composition, and methane emissions of dairy cows. *Journal of Dairy Science*. v. 101, n. 3, p. 2072-2083, 2018.

Wilson, J. R.; Wong, C. C. Effects of shade on some factors influencing nutritive quality of green panic and siratro pastures. *Australian Journal of Agricultural Research*, v. 33, n. 6, p. 937–949, 1982.

Wims, C. M.; Deighton, M. H.; Lewis, E. Effect of pregrazing herbage mass on methane production, dry matter intake and milk production of grazing dairy cows during the mid-season period. *Journal of Dairy Science*, v. 93, p. 4976-4985, 2010.

Zhou, G. *et al.* Effects of livestock grazing on grassland carbon storage and release override impacts associated with global climate change. *Global Change Biology*, v. 25, p. 1–14, 2018.

CAPÍTULO 13

ESTOQUES DE CARBONO EM SISTEMAS AGROPECUÁRIOS OCUPADOS COM PASTAGEM E LAVOURA

*Alan Figueiredo de Oliveira; Ângela Maria Quintão Lana; Lúcio Carlos Gonçalves;
Matheus Anchieta Ramirez; Pamella Grossi de Sousa; Frederico Patrus Ananias de
Assis Pires; Rafael Araújo de Menezes; Guilherme Lobato Menezes*

RESUMO

A sociedade atual lida com o grande desafio de produzir alimentos em quantidade e em qualidade para suprir a população mundial em crescimento. Por outro lado, o desafio de aumentar a produção de alimentos, de fibras e de biocombustíveis precisa ser acompanhado da preservação dos recursos naturais. O aumento das emissões de gases causadores do efeito estufa, principalmente após a Revolução Industrial, gerou grande preocupação mundial em desenvolver tecnologias capazes de mitigar as emissões de carbono e manter a produtividade dos sistemas. O desenvolvimento agropecuário brasileiro a partir da década de 1960 promoveu a supressão da vegetação nativa e o estabelecimento de sistemas convencionais, o que provocou impactos negativos no ambiente. Entretanto, o meio agrário nacional vem buscando novas tecnologias que tenham potencial de reverter esses impactos. As novas tecnologias, como o plantio direto na palha, o menor revolvimento do solo, a rotação de culturas, a integração lavoura-pecuária, o ajuste de adubações, o ajuste da carga animal e a utilização de material genético melhorado, são fundamentais para o aumento da produção mundial de alimentos e para a preservação ambiental.

INTRODUÇÃO

A população mundial evoluiu de pequenas comunidades isoladas, que obtinham alimento por meio da caça e do extrativismo, para a sociedade atual, altamente conectada e que produz alimento em sistemas agropecuários bem estruturados. A evolução dos sistemas agropecuários em diferentes partes do mundo é heterogênea e acompanha fatores locais, como disponibilidade e qualidade de recursos naturais (água, luz, temperatura, solo e vegetação natural), e fatores regionais e globais, como orientação política, costumes religiosos e culturais, localização e disponibilidade de mercado. Os sistemas

agropecuários brasileiros apresentam íntima relação com a história política e fundiária adotada desde o descobrimento do país. A concentração do poder político por meio do controle da mão de obra e da posse da terra manteve a estrutura fundiária também concentrada. Essa concentração agrária histórica e a modernização da agricultura (a partir da década de 1960) são as principais causas dos baixos índices produtivos, da degradação ambiental e da alta emissão de carbono criticados pela literatura internacional (Leite *et al.*, 2012).

As práticas agrícolas e o modo de vida atual geraram forte impacto no ambiente, como o aumento das emissões dos gases do efeito estufa (GEE) que afetam todo o planeta. O aumento das concentrações atmosféricas dos GEE, principalmente dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O), é uma das maiores preocupações de diversas áreas do conhecimento da literatura mundial como risco à sustentabilidade do planeta. O setor agropecuário é responsável por grande parte dessas emissões de GEE e, por isso, vem sofrendo grande pressão por diversas partes da sociedade para a melhoria dos índices produtivos e da preservação ambiental (Sainju, 2016; Smith, 2017; Feng *et al.*, 2018).

Os sistemas agropecuários, em todo o mundo, passaram por transformações ao longo da história e atualmente buscam estratégias e tecnologias que sejam mais sustentáveis e reduzam o impacto ambiental. A utilização de novas tecnologias produtivas, como o melhoramento genético, a nutrição de precisão e a melhoria das condições sanitárias dos rebanhos, possibilita o aumento da ecoeficiência dos sistemas produtivos. Outras tecnologias produtivas, como o plantio direto (PD), a rotação de culturas, o menor revolvimento do solo, a utilização de diferentes arranjos de integração lavoura-pecuária (ILP) e de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), a recuperação e o adequamento do manejo das pastagens, a utilização de leguminosas fixadoras biológicas de nitrogênio e a melhoria do manejo dos fertilizantes, permitem a utilização mais adequada dos recursos naturais na produção agropecuária e no manejo do solo. Portanto, os sistemas agropecuários mundiais vêm buscando o aumento da produção de alimentos e matérias-primas com alto padrão de preservação ambiental (Lal, 2010; Bustamante *et al.*, 2014; Franzluebbbers *et al.*, 2014).

Os estoques de carbono no solo (ECS) têm papel central nas discussões sobre sustentabilidade na agropecuária. O grande volume de carbono que pode ser estocado mundialmente no solo funciona como reservatório capaz de retirar da atmosfera o carbono emitido pelos sistemas produtivos. Desse modo, o entendimento de como as ações antrópicas, como o desmatamento e a utilização de práticas agrícolas conservacionistas,

influencia os ECS é fundamental para conciliar altas produtividades e preservação ambiental no meio agropecuário. Objetivou-se neste capítulo discutir como as mudanças no uso do solo podem afetar o balanço de carbono nos sistemas agropecuários ocupados por pastagem e lavoura.

CICLO DO CARBONO E EFEITO ESTUFA

A energia solar entra na atmosfera terrestre por meio de ondas curtas e, ao atingir o solo, é refletida para a atmosfera como ondas longas. Essa energia refletida interage com os GEE e retém calor na atmosfera, fundamental para a manutenção da temperatura e da vida terrestre. Entretanto, devido às ações antrópicas, as emissões dos GEE, principalmente de CO₂, CH₄, N₂O e clorofluorcarbonos (CFC_s), têm aumentado nas últimas décadas e gerado o aumento da temperatura terrestre.

Entre esses GEE, a capacidade de reter calor é diferenciada e, por isso, é necessário considerar o volume emitido juntamente com a capacidade de reter calor. Para solucionar esse problema, a literatura internacional converte as emissões de todos os gases em equivalentes de CO₂. O CO₂ é o gás que mais contribui para o efeito estufa devido ao grande volume emitido e permanece na atmosfera por 100 a 300 anos. A quantidade de CH₄ emitida é bem menor, mas seu potencial de aquecimento é 23 vezes maior que o CO₂ (1CH₄ = 23 CO₂) e permanece na atmosfera por aproximadamente 12 anos. As concentrações de CFC_s e N₂O são ainda menores, porém o potencial de aquecimento é de 296 vezes maior no N₂O (1 N₂O = 296 CO₂) e de 6.200 a 7.100 vezes maior nos CFC_s (1CFC = 6.200 a 7.100 CO₂). A permanência do N₂O na atmosfera é de aproximadamente 121 anos (IPCC, 2007; Blasing, 2016).

O carbono tem função essencial na mitigação do efeito estufa em razão do grande potencial de acúmulo nos ecossistemas terrestres. Do ponto de vista agropecuário, os estoques de carbono no solo e na biomassa vegetal são importantes e passíveis de mudanças pelas práticas de manejo adotadas nos sistemas produtivos. O carbono no solo é a principal forma de estoque de carbono e equivale a aproximadamente três vezes a quantidade de C no reservatório vegetal e a duas vezes a contida na atmosfera.

Uma parte considerável do carbono orgânico no solo está na forma de agregados, que é menos propensa à decomposição microbiana, fato que possibilita a retenção desse carbono e a melhoria das características físico-químicas do solo. Entretanto, práticas de manejo que deixam o solo descoberto e que o revolvem antes do plantio aumentam a exposição da matéria orgânica do solo (MOS) à oxidação microbiana e possibilita a perda

gradual dos estoques de carbono no solo (Cerri *et al.*, 2007). Além disso, o corte e a queima da vegetação nativa dos biomas são importantes fontes de emissão de carbono para a atmosfera. Portanto, as práticas de manejo adotadas nos sistemas produtivos agropecuários são os principais fatores que determinam o estoque ou a emissão de carbono nos sistemas.

As emissões de carbono do solo para a atmosfera ocorrem principalmente pelos processos biológicos de decomposição de resíduos orgânicos e das respirações dos organismos do solo e do sistema radicular das plantas. A respiração radicular é responsável por aproximadamente 20% das emissões de CO₂ para a atmosfera, e a atividade biológica por 80%. Assim, fica evidente que as práticas de manejo que aumentam a exposição da MOS à oxidação microbiana podem aumentar o fluxo de carbono para a atmosfera. Além disso, a umidade e a temperatura podem elevar a taxa de respiração do solo e, conseqüentemente, o fluxo de carbono para a atmosfera (Carvalho *et al.*, 2010A; Chen *et al.*, 2013).

Nos ecossistemas brasileiros, as ações antrópicas atuam como forte influência nos estoques de carbono. Por exemplo, a expansão da fronteira agrícola para ocupação das áreas de Cerrado e, mais recentemente, da Amazônia foram realizadas, em sua maioria, pela destoca e queima da vegetação nativa, fato que emitiu grande quantidade de carbono para a atmosfera. Além disso, a manutenção de pastagens degradadas e de áreas de culturas improdutivas gera a redução dos estoques de carbono no solo e a necessidade de desmatamento de novas áreas. A produção de cana-de-açúcar com a utilização da queima das palhas antes do corte manual também é um manejo que emite grandes quantidades de carbono para a atmosfera (Cerri *et al.*, 2007; Franco *et al.*, 2015; Oliveira *et al.*, 2016).

A agropecuária brasileira tem evoluído muito com o desenvolvimento de tecnologias mais sustentáveis que permitem a manutenção ou o aumento dos estoques de carbono e da fertilidade do solo. Como exemplos dessas tecnologias, citam-se o corte mecânico da cana-de-açúcar, que reduz as emissões de CO₂ e mantém a cobertura do solo; o aumento da produtividade animal com a utilização de menos recursos, que possibilita o efeito “poupa terra” e abre novas áreas para reflorestamento; o PD na palha, que não revolve a cobertura do solo e, assim, a mantém; a rotação de culturas, que aumenta a biodiversidade do solo e possibilita o controle de pragas; a utilização da ILP, que gera benefícios mútuos, como a utilização da adubação residual da cultura pelo pasto e a melhoria das características do solo pelo pasto para a cultura; a utilização de energias limpas, como etanol e biodiesel, que reduzem a necessidade de queima de combustíveis

fósseis; a utilização da ILPF, que aumenta os estoques de carbono acima e abaixo da superfície do solo, diversifica a renda e melhora o ambiente para os animais; o combate ao desmatamento e o incentivo ao reflorestamento; a melhoria do manejo de plantações de arroz; entre outras tecnologias (Cerri *et al.*, 2010; Galford *et al.*, 2013; Carvalho *et al.*, 2014A; Gil *et al.*, 2015; Cerri *et al.*, 2018; Bretas *et al.*, 2020).

DINÂMICA DE CARBONO EM SOLOS AGRÍCOLAS

O sequestro de carbono pode ser definido como o processo de transferência de CO₂ da atmosfera para o solo pelas plantas, pelos resíduos das plantas e por outros compostos orgânicos. Já o estoque de carbono pode ser definido como o volume de carbono presente em um compartimento (solo, árvore, liteira) por um determinado tempo, sem necessariamente ser associado ao sequestro de carbono. Um exemplo de aumento do estoque sem haver sequestro de carbono ocorre quando há adição de esterco em uma determinada área (Chenu *et al.*, 2019).

Em sistemas agropecuários, os estoques de carbono dependem do balanço entre a entrada e a saída de carbono. Em sistemas com maior entrada do que saída, há acúmulo de carbono. Por outro lado, em sistemas com maior saída do que entrada, ocorre decréscimo nos estoques de carbono (Chenu *et al.*, 2019). Em situações em que existem medidas de manejo e utilização de tecnologias, como rotação de culturas, PD, agroflorestas, culturas de cobertura, manejo de pastagem com adubação adequada e ajuste de carga animal, utilização de compostos orgânicos, redução de queimadas e redução de erosão do solo, há aumento progressivo dos estoques de carbono no solo até atingir novo equilíbrio. Portanto, os estoques de carbono no solo são dinâmicos e estão sujeitos a alterações em função do manejo adotado. Essa alteração permite aumentar o sequestro de carbono no solo e mitigar os efeitos negativos do efeito estufa.

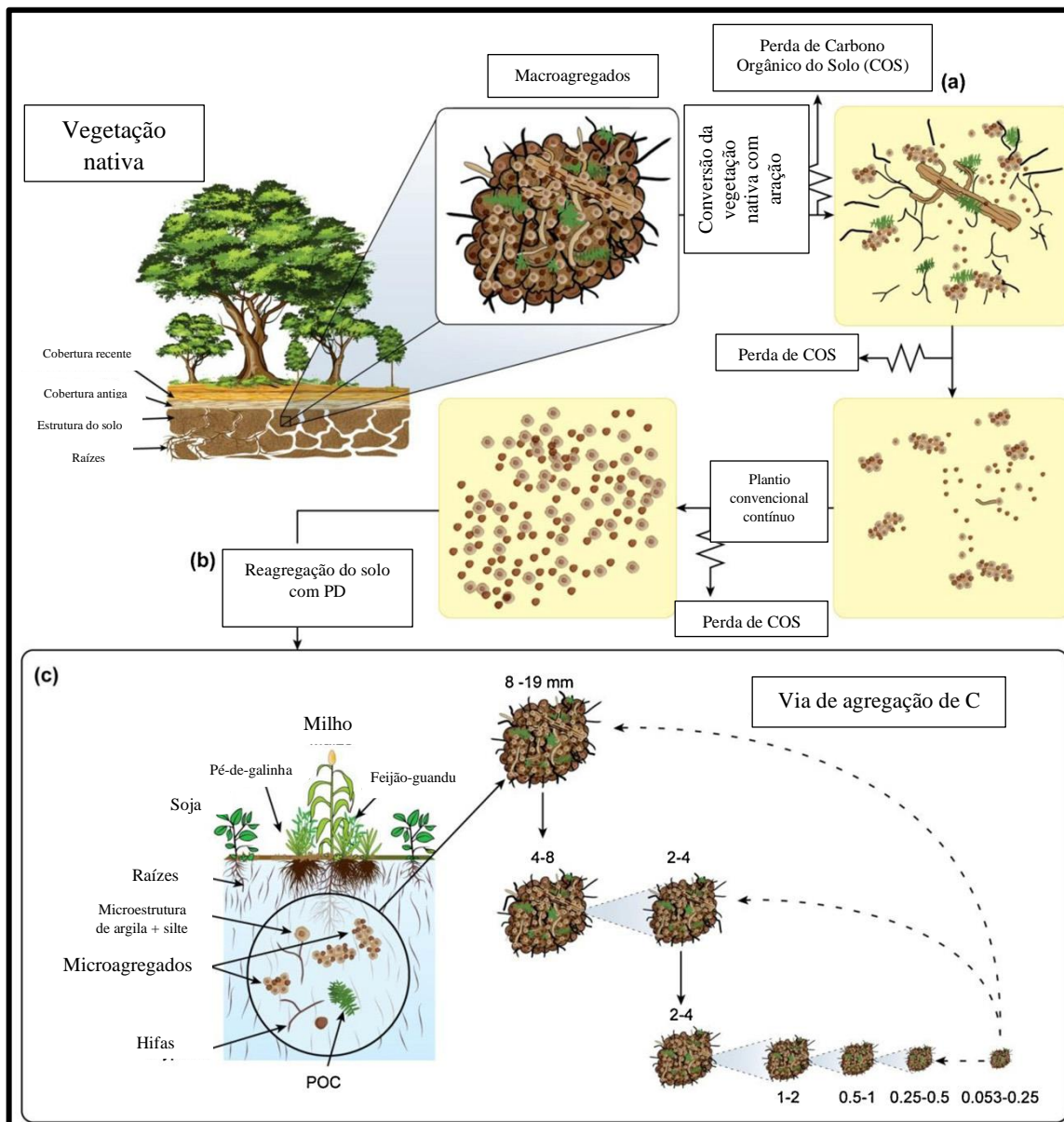
Os agroecossistemas florestais apresentam maior capacidade de acumulação líquida de carbono. Entretanto, devido à grande área global coberta por pastagens e lavouras, mais atenção vem sendo dada ao balanço de carbono desses sistemas que exercem influência direta nos ECS. A base biológica para a diferença dos estoques de carbono entre os sistemas consiste no fato de que as florestas estocam grande quantidade de carbono na parte aérea até atingirem a maturidade plena. Já nos pastos e nas lavouras manejados permanentemente, os ECS se mantêm quase constantes quando manejados com medidas conservacionistas. Porém, quando os pastos e as lavouras são manejados convencionalmente, os ECS tendem a reduzir-se.

Tivet *et al.* (2013) mostraram os efeitos provocados na estrutura do solo e nos ECS pela conversão da vegetação nativa em lavoura com plantio convencional e, posteriormente, em lavoura com PD (Figura 1). A aração do solo quebra os macroagregados e expõe a matéria orgânica para oxidação microbiana, fato que gera perda de carbono. Por outro lado, no PD, a maior decomposição de biomassa, a menor exposição da matéria orgânica à oxidação, a maior interação do carbono com sesquióxidos, o menor *turnover* de macroagregados e a maior presença de polissacarídeos provenientes das plantas (parte aérea e raiz) resultam em maior agregação das partículas no solo, favorecem a formação de macro e de microagregados e aumentam a estabilidade do carbono no solo.

Em trabalho complementar, Sá *et al.* (2015) observaram redução do estoque de carbono orgânico no solo de 0,58 a 0,67 Mg C/ha/ano com a utilização de plantio convencional. Nos sistemas com PD, houve acúmulo de carbono no solo e o índice de resiliência de carbono variou de 0,29 a 0,79 com o aumento da incorporação de carbono por meio dos resíduos das culturas com o PD. Segundo os autores, esses dados indicam a oportunidade de aumentar os ECS e de reverter o processo de degradação com a utilização de PD com alto volume de incorporação e diversificação de palhada.

Microagregados são formados pela ligação de polissacarídeos microbianos com pequenas partículas do solo, como silte e argila, e os macroagregados pela degradação de raízes a fragmentos orgânicos (Rochester, 2011). A proteção dos agregados no solo depende da estabilidade em contato com água e da resposta ao estresse mecânico. Portanto, sistemas convencionais de cultivo que reviram o solo aumentam a oxidação da matéria orgânica, reduzem a ligação entre os macroagregados e reduzem a estabilidade dos agregados em água. O aumento do ECS e sua permanência no solo dependem da maior incorporação de carbono no solo e de sua posterior mineralização. A estabilização do carbono ocorre por interações de sorção, de captura e de complexação com a superfície de partículas de argila e óxidos de ferro e alumínio. Em solos ácidos, a estabilização advém provavelmente da troca de ligações entre grupos carboxila do carbono orgânico no solo e grupos OH da superfície dos óxidos (Kaiser e Guggenberger, 2007).

Figura 1. Representação esquemática do aumento no estoque de carbono orgânico no solo, de acordo com as práticas de manejo adotadas



(a) A conversão da vegetação nativa em plantio convencional destrói os agregados do solo, promove a dispersão de partículas de argila e silte e diminui a formação de novos agregados.

(b) Reagregação dos agregados pela incorporação de carbono proveniente da palhada em PD.

(c) A reagregação envolve a acumulação e a redistribuição do COS entre as classes de agregados.

Perda de carbono envolve processos de emissão de CO_2 e CH_4 por oxidação e metanogênese e perda por erosão.

Fonte: Adaptado de Tivet *et al.* (2013).

Com o intuito de verificar como o teor e as diferentes composições de argila e silte influenciam a estabilização do carbono orgânico no solo, Bruun *et al.* (2010) afirmaram que a labilidade do carbono orgânico no solo foi influenciada pela composição da argila e não pelo seu teor. Os conteúdos de óxidos de ferro e de alumínio foram inversamente proporcionais à labilidade do carbono orgânico no solo, ou seja, quanto maiores foram as concentrações de óxidos de ferro e alumínio no solo, maior foi a estabilidade do carbono.

Além do aumento dos estoques de carbono no solo, é fundamental entender como os processos físico-químicos e biológicos influenciam na conservação desse carbono no solo. Os principais mecanismos para estabilização do carbono no solo são a proteção física contra decompositores devido à inacessibilidade da matéria orgânica, a preservação seletiva devido à recalcitrância de compostos orgânicos em nível molecular e a interação organomineral na superfície dos óxidos de manganês, ferro, alumínio e filossilicatos (Dieckow *et al.*, 2009). A conservação do carbono no solo pela proteção contra a degradação da MOS é um dos principais processos que determinam os estoques de carbono nos sistemas agropecuários por longos períodos.

Após a decomposição dos resíduos de culturas e raízes, a matéria orgânica particulada livre migra para a matéria orgânica particulada (MOP) incluída em macro e em microagregados. As práticas de manejo, como o PD, que não usam o revolvimento e usam a cobertura do solo com palhada reduzem a taxa de *turnover* de macroagregados. Além disso, o plantio direto aumenta a estabilização de microagregados e permite a conservação da MOS por longos períodos (Kleber *et al.*, 2011; Kogel-Knabner e Kleber, 2012; Nogueirol *et al.*, 2014; Plaza-Bonilha *et al.*, 2014; Kibet *et al.*, 2016)

Dieckow *et al.* (2009) avaliaram o balanço de carbono no solo em fazendas nos estados de Mato Grosso do Sul e Rio Grande do Sul, cultivadas por 11 a 25 anos com PD, e verificaram perda de carbono com a conversão de vegetação nativa em lavoura com plantio tradicional e ganho de carbono com a conversão de lavoura tradicional para lavoura com PD. A conversão de vegetação nativa para lavoura com plantio tradicional reduziu as concentrações de O-álcali (compostos geralmente provenientes da decomposição recente de resíduos orgânicos) e aumentou as de compostos aromáticos, carbonila, radicais livres (compostos geralmente provenientes de processos mais longos de decomposição e que apresentam maior recalcitrância) e a razão entre compostos aromáticos e O-álcali. A tendência foi inversa com a conversão de lavoura com plantio tradicional em lavoura com PD. Além disso, os ganhos de carbono foram maiores no solo com textura fina em relação aos solos com textura grosseira, fato que mostra a importância da proteção física contra a decomposição do carbono no solo pelo ataque microbiano e enzimático. Segundo os autores, o aumento e a posterior permanência dos estoques de carbono no solo são resultado principalmente de interações do carbono com os organominerais e da inacessibilidade física em agregados.

Boeni *et al.* (2013) também encontraram maior concentração de O-álcali e menor concentração de álcali de carbono no solo cultivado em pastagem permanente, em ILP e

em lavoura tradicional, respectivamente. Na fração livre e na oclusa, a maior concentração de O-álcali foi atribuída à maior incorporação de biomassa no solo e à posterior decomposição dos polissacarídeos, bem como ao menor revolvimento do solo, o que reduz a decomposição dessas frações mais susceptíveis.

Nesse contexto, Conceição *et al.* (2013) avaliaram os estoques de carbono e a forma do carbono no solo em sistemas implantados há 18 anos, no Rio Grande do Sul, que utilizavam dois sistemas de plantio (PD ou convencional) e duas estratégias de rotação de culturas (plantio de aveia (*Avena strigosa*) no inverno e milho (*Zea mays*) no verão, ou aveia e ervilhaca (*Vicia vilhosa*) no inverno e milho e feijão-de-corda (*Vigna unguiculata*) no verão). Os estoques de carbono na camada de 0 a 20 cm foram maiores no solo sob PD em comparação ao sob plantio tradicional, nos dois sistemas de rotação de culturas. A taxa de acúmulo de carbono foi maior no solo sob PD e com o plantio de aveia e milho em consórcio em razão da maior produção e decomposição de palhada no solo. Além disso, a proporção de macroagregados foi maior com o PD e a acumulação de carbono ocorreu mais na fração agregada a minerais em relação ao plantio convencional. A estabilização organomineral e a proteção física dos agregados tiveram importância semelhante na estabilização da MOP oclusa. Portanto, esses resultados demonstram que o PD e o consórcio de culturas, principalmente com leguminosas, são ferramentas importantes no acúmulo e na manutenção do carbono no solo.

A estrutura dos poros e a dos agregados influenciam diretamente nos estoques de carbono e na movimentação de gases e de água no solo. Essas características dos poros e dos agregados interferem nos processos biológicos e nos fluxos de água e de gases. A decomposição da matéria orgânica no solo geralmente é maior com agregados e poros grandes em razão da maior aeração do solo e do maior fluxo de gases (Zhang *et al.*, 2012), que aumentam a atividade microbiana.

Mangalassery *et al.* (2013) avaliaram como os formatos de 2 a 4 mm, 0,5 a 1 mm e <0,5 mm dos agregados do solo e as características do poro em solos argilosos ou em arenosos influenciam os conteúdos de matéria orgânica e as emissões de CO₂ e CH₄. O formato do agregado aumentou o conteúdo de matéria orgânica com valores de 7,5 a 8,6% no solo argiloso e de 2,8 a 5,2% no solo arenoso. Nos solos argilosos, o maior conteúdo de matéria orgânica foi contido em microagregados e, nos arenosos, em agregados intermediários. Os solos argilosos emitiram mais CO₂ em agregados pequenos, e os solos arenosos emitiram mais CO₂ em agregados grandes. Segundo os autores, pequenos agregados possuem maior habilidade de proteger a matéria orgânica e manter o carbono

no solo por mais tempo em comparação a macroagregados. Além disso, solos mais porosos e com poros maiores podem aumentar a passagem de CO₂ para a superfície e aumentar a disponibilidade de oxigênio para microrganismos agirem na decomposição da matéria orgânica e de resíduos de culturas.

A capacidade de armazenamento de carbono no solo com a utilização de PD é uma das principais possibilidades de retirar grandes quantidades de carbono da atmosfera. Entretanto, essa capacidade de armazenamento parece ser limitada, ou seja, os estoques de carbono no solo em sistemas com PD aumentam até determinado nível e, a partir daí, estabilizam-se. Corbeels *et al.* (2016) avaliaram os estoques de carbono no solo de duas propriedades em Goiás, nos anos de 2003 e 2011. Em 2003, essas propriedades tinham sistemas de ILP com PD com um, cinco, seis, oito, nove, 11 e 13 anos após implantação. Esses mesmos sistemas foram avaliados oito anos depois, em 2011, com nove, 13, 14, 16, 17, 19 e 21 anos após implantação. Os principais resultados encontrados foram que os estoques de carbono no solo dos sistemas de ILP com mais tempo após implementação foram superiores aos do Cerrado nativo, fato que mostra a potencialidade desse sistema em estocar carbono.

Outro resultado importante foi que a taxa média de acúmulo de carbono nos sistemas mais novos foi superior à dos mais velhos. Esses resultados indicam que há uma limitação na capacidade de estocar carbono nos sistemas de ILP mais velhos. Segundo os autores, possivelmente quando os mecanismos de estabilização do carbono orgânico no solo são saturados, a proteção da matéria orgânica da decomposição microbiana é menor, fato que limita a adição de carbono no solo. Entretanto, é relevante ressaltar que a maioria dos sistemas produtivos no Cerrado apresentam pastagem degradada e culturas com cultivo tradicional e, por isso, têm grandes potencialidades de estocar carbono. Ainda de acordo com os autores, a conversão de 8 milhões de hectares de cultura tradicional para PD poderia estocar 8 Tg C ano⁻¹ durante 10 a 15 anos.

Smith (2014) também sugeriu que os estoques de carbono nos sistemas agropecuários não funcionam como dreno constante e infinito de carbono. Além disso, os estoques de carbono variam muito conforme o manejo adotado e o tempo desde a introdução do manejo. Essa afirmação é importante pois mostra a necessidade de ter cautela em extrapolar os achados pontuais de alguns experimentos para todas as áreas com manejos semelhantes. O autor ainda discute que, mesmo que haja uma limitação, o solo pode atuar como grande dreno de carbono, principalmente em sistemas manejados convencionalmente, em que há perda sistemática de carbono.

ESTOQUE DE CARBONO EM RAZÃO DA MUDANÇA NO USO DO SOLO

A conversão de florestas nativas em pastagem, em lavoura ou em plantio de árvores e a conversão de pastagem em lavoura alteram os ECS dos sistemas. A derrubada de florestas e a posterior retirada ou queima da madeira extraem grandes quantidades de carbono do sistema para a atmosfera. Além disso, a utilização de aração do solo tende a reduzir os ECS, principalmente nas camadas mais superficiais. Entretanto, dependendo das características da vegetação nativa, do manejo adotado, do tipo do uso do solo, das práticas agropecuárias e do clima do local, os ECS podem aumentar ou se manter estáveis. As práticas agrícolas como o PD e a ILP geralmente são destacadas como capazes de aumentar os ECS, sobretudo nas camadas superficiais (Carvalho *et al.*, 2009A; Batlle-Bayer *et al.*, 2010; Maia *et al.*, 2010A; Maia *et al.*, 2010B.; Fujisaki *et al.*, 2015; Smith *et al.*, 2016).

Eclesia *et al.* (2012) avaliaram os ECS em locais pareados na América do Sul, quando a vegetação nativa foi substituída por pastagem ou plantio de árvores. A precipitação pluviométrica e a idade do sistema explicaram 50% da variação dos estoques de carbono no solo. Estes aumentaram com a conversão das áreas em pasto, independentemente da pluviosidade. A conversão da floresta nativa em plantio de árvores reduziu os estoques de carbono no solo em ambientes úmidos, porém, com o aumento da idade, os estoques de carbono voltaram a aumentar. As mudanças nos estoques de carbono se deram principalmente na fração associada a minerais (silte e argila), fato que pode indicar maior persistência desse carbono no solo. Segundo os autores, os aumentos dos ECS com o aumento da precipitação média podem ocorrer em razão da maior produção de biomassa aérea e da maior entrada de carbono no solo. Porém, maiores precipitações e temperaturas também podem reduzir o tempo de permanência do carbono no solo, provavelmente pela maior decomposição da matéria orgânica particulada.

Carvalho *et al.* (2009B) estudaram os ECS em áreas no estado de Rondônia que eram ocupadas naturalmente pela vegetação do Cerrado e que foram utilizadas para o plantio tradicional de arroz por dois anos. Após esse período, a área foi plantada com arroz, com plantio tradicional por um ou dois anos, ou soja, com PD por um, dois ou três anos. Os ECS corrigidos para a densidade na camada de 0 a 30 cm foram maiores nas áreas com PD em relação ao plantio de arroz por um ano, com plantio tradicional, e à vegetação nativa. A taxa de acumulação de carbono na conversão do arroz em plantio

tradicional para soja em PD foi de 0,38 Mg/ha/ano. Devido à ausência de revolvimento do solo, a decomposição lenta da palhada mantém ou aumenta a MOS e garante o fluxo de carbono para o solo. O acúmulo de carbono no solo pode ser proveniente da MOS e da decomposição das raízes da vegetação nativa original, da adição de calcário no solo e da introdução de resíduo de culturas. Portanto, é fundamental a inclusão de palhada no sistema para manter os estoques de carbono no solo por longos períodos.

No Brasil, a mudança na utilização do solo com a conversão da vegetação nativa em pasto ou em culturas, a conversão de pasto em agricultura ou a conversão de pasto ou agricultura em ILP alteram os estoques de carbono no solo de acordo com o manejo adotado nesses processos. Nesse contexto, a introdução de pastos intercalados com culturas é uma estratégia para alcançar estabilidade produtiva ao longo dos anos, por melhorar a qualidade e os estoques de carbono no solo.

Carvalho *et al.* (2010B) avaliaram os estoques de carbono em solos de fazendas localizadas nos biomas Amazônia e Cerrado e com históricos de ocupação com vegetação nativa, com pasto, com lavoura em rotação entre culturas sem pasto, com ILP com produção de culturas na safra e de pasto na safrinha ou com ILP com anos intercalados de cultura e de pasto. A conversão da vegetação nativa em pastos fez com que o solo exercesse a função de fonte ou dreno de carbono atmosférico, de acordo com o manejo aplicado na área. Em pastos não degradados e com alta fertilidade do solo, houve acúmulo e, em pastos degradados em solos de baixa fertilidade, houve perda de carbono. Os pastos degradados em solos de baixa fertilidade resultaram em baixa produção de biomassa e em baixa entrada de resíduo no solo, fato que reduz os ECS.

A conversão de vegetação nativa em cultura, mesmo com a utilização de PD, gerou perda de carbono. Nesses casos, os autores enfatizaram que, em fazendas comerciais, o baixo volume da palhada pode ter gerado a perda de carbono. O PD é fundamentado na ausência de revolvimento do solo, na rotação de cultura e na cobertura do solo. Porém, em locais com altas temperaturas e com baixa cobertura do solo, a decomposição da matéria orgânica é acelerada, e pode haver perda de carbono para a atmosfera.

A conversão de pasto não degradado em cultura mesmo em rotação liberou carbono para a atmosfera. Os sistemas de ILP com utilização de pasto funcionaram como dreno de carbono atmosférico. Esse dreno em sistema de ILP ocorreu principalmente pela inserção do carbono presente nas raízes e na palhada do pasto no carbono do solo. Além disso, segundo os autores, outros fatores, como a temperatura, a precipitação e o plantio

do pasto consorciado ou em sucessão com a cultura, afetam a competição por luz e podem influenciar a produção de biomassa e o sistema radicular das plantas, bem como o acúmulo de carbono.

Resultados semelhantes foram encontrados por Carvalho *et al.* (2014B), que observaram, em uma fazenda localizada em Goiás, perda líquida de carbono (carbono no solo e fluxo de N₂O e CH₄) na conversão da vegetação nativa para pasto ou na sucessão de culturas e dreno de carbono na conversão de áreas de culturas para ILP com utilização de *Urochloa decumbens*. Os autores ressaltaram que a conversão de Cerrado nativo para pasto emite CO₂ pelo desmatamento e pela queima da vegetação. Além disso, esse sistema pode emitir carbono em razão da perda gradual do carbono do solo devido à baixa produção do pasto, à baixa reincorporação de carbono em sistemas que utilizam superpastejo e à baixa reposição de nutrientes no solo.

A conversão do Cerrado em área com rotação de culturas, como a desse trabalho (soja na safra e milho na safrinha), reduz os estoques de carbono provavelmente em razão da baixa relação C/N da palhada, do baixo volume de palhada e da pequena cobertura do solo, que, junto às condições ambientais, aceleram a decomposição da matéria orgânica. A utilização da ILP com a rotação entre culturas e pasto na mesma área foi o único sistema capaz de acumular carbono. Isso pode ocorrer pela formação de boa palhada e pelo desenvolvimento vigoroso das raízes do pasto (Marchão *et al.*, 2009; Santos *et al.*, 2011).

Em Santarém-PA, no bioma Amazônia, Durigan *et al.* (2017) observaram perda líquida de carbono no solo na conversão da floresta nativa em áreas de lavoura. Entretanto, a avaliação de longo prazo e a utilização de carbono marcado mostrou que a conversão da floresta nativa em pasto não afetou os estoques de carbono e nitrogênio, provavelmente em razão da incorporação de carbono no solo proveniente da biomassa aérea e das raízes da pastagem. Segundo os autores, para reduzir as emissões de GEE na região, é necessário estabelecer medidas de exploração mais sustentáveis no bioma Amazônia, melhorar o monitoramento de queimadas e desmatamentos e reduzir a demanda por novas áreas agrícolas.

ESTOQUES DE CARBONO EM RAZÃO DO PLANTIO DIRETO E DA INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA

O cultivo do solo com práticas convencionais, como a utilização de fogo para limpeza de áreas, a aração e a gradagem do solo, o plantio de apenas uma lavoura por ano e o descanso da terra em pousio, são manejos que foram historicamente empregados em sistemas agrícolas em várias partes do mundo. Entretanto, o aumento recente da

preocupação com questões ambientais fez com que esses manejos fossem amplamente criticados pela alta emissão de CO₂, pela perda dos ECS e pela baixa eficiência produtiva. Nesse contexto, práticas agrícolas conservacionistas vêm sendo desenvolvidas e aprimoradas para permitir aumento da produtividade agropecuária sem gerar degradação ambiental. O PD na palha apresenta algumas vantagens em relação ao plantio convencional, como menor compactação do solo por máquinas agrícolas, maior retenção de umidade no solo, menor estresse ao déficit hídrico, maior ECS, aumento das frações estáveis de carbono no solo, melhor estruturação do solo e aumento da produtividade agrícola (Figueiredo *et al.*, 2013; Sá *et al.*, 2014; Pinheiro *et al.*, 2015; Ferreira *et al.*, 2016; Miranda *et al.*, 2016; Briedis *et al.*, 2020; Oliveira *et al.*, 2020; Piazza *et al.*, 2020).

Juntamente ao PD, a utilização de rotação de culturas, o não revolvimento do solo e o consórcio com leguminosas fixadoras biológicas de nitrogênio ainda permitem maior controle de pragas, utilização de menores doses de fertilizantes, redução das emissões de GEE e maior eficiência produtiva (Ferreira *et al.*, 2013; Abdalla *et al.*, 2016; Valkama *et al.*, 2020). Outra tecnologia amplamente estudada e utilizada no Brasil são os diferentes arranjos de ILP. Embora sejam sistemas mais complexos e com maior dificuldade gerencial, a ILP apresenta muitas vantagens em relação ao monocultivo, inclusive no âmbito econômico (Lemaire *et al.*, 2015).

Assad *et al.* (2013) avaliaram o estoque de carbono nos biomas brasileiros Cerrado, Floresta Atlântica e Pampa com diferentes sistemas de ocupação da terra. Os estoques de carbono foram maiores na vegetação nativa em relação às florestas, à ILP e ao pasto tradicional. A média de estoque de carbono no solo com a vegetação nativa corrigida para a massa do solo na camada de 0-10 cm foi de 29,0 Mg/ha e reduziu ($p=0,02$) para 22,6 Mg/ha, com a ILP, e para 20,9 Mg/ha, com a pastagem tradicional.

Na camada de 0-30 cm, o estoque de carbono no solo corrigido para a densidade com a vegetação nativa foi de 63,6 Mg/ha e reduziu ($p=0,07$) para 53,4 Mg/ha, com a ILP, e para 52,1 Mg/ha, com a pastagem tradicional. Na camada de 0-60 cm, o estoque de carbono no solo foi de 91,8 Mg/ha com a vegetação nativa, de 85,8 Mg/ha com a ILP e de 83,6 Mg/ha com o pasto tradicional, sem diferença entre os sistemas. Nas camadas de 0-10 e 0-30 cm, o estoque de carbono no solo foi 7,5 Mg/ha maior com a floresta em relação ao com ILP e aproximadamente 11,3 Mg/ha maior em relação ao pasto tradicional.

As variações regionais, como a temperatura e a precipitação, e as locais, como a textura, a densidade e a fertilidade do solo, são algumas das responsáveis pelos estoques

de carbono no solo. Geralmente regiões mais frias e com solo menos arenoso têm maiores estoques de carbono que regiões quentes e com solos mais arenosos. No estudo conduzido por Assad *et al.* (2013), metade da variância foi explicada pelo conteúdo de areia do solo e pela temperatura média anual. O conteúdo de areia foi mais importante que o de argila para prever os estoques de carbono em pastos. O conteúdo de argila tem relação direta com o estoque de carbono desde que exerça proteção contra a decomposição da matéria orgânica. Entretanto, essa proteção depende mais do tipo de argila e dos conteúdos de sesquióxidos de alumínio e ferro do que da quantidade absoluta de argila. Os sesquióxidos conferem uma textura arenosa aos solos tropicais, fato que reduz a retenção de água e a densidade do solo. As altas temperaturas também aumentam a perda de carbono pela emissão de CO₂ em razão da maior respiração do solo e da decomposição da matéria orgânica.

Esses resultados confirmam a tendência de perda de carbono em solos cultivados. Todavia, em dois dos 13 locais amostrados com conversão de vegetação nativa para pasto e em um terço deles com conversão de vegetação nativa para lavoura, houve aumento no estoque de carbono. A perda ou o ganho de carbono estão ligados ao manejo das áreas. Em áreas bem manejadas com PD, rotação de culturas e ILP, geralmente há ganho de carbono, enquanto em áreas mal manejadas, ocorrem perdas de carbono em relação à vegetação nativa.

A utilização de sistemas com plantio tradicional, que envolve intenso revolvimento do solo, aumenta a perda de matéria orgânica no solo e o fluxo de CO₂ para a atmosfera. A adoção de sistemas com cultivo conservativo como o PD contribui para reduzir a oxidação da MOS, aumentar o conteúdo de nitrogênio no solo, manter a integridade física e a estabilidade dos agregados do solo e reduzir a emissão de GEE e a degradação físico-química do solo. O PD mantém resíduos das culturas na superfície do solo e gera uma decomposição lenta e gradual da matéria orgânica, que, associada à fração mineral, causa acúmulo de carbono no solo. Além disso, a melhoria da qualidade do solo e a inclusão de espécies leguminosas podem reduzir a demanda por fertilizantes nitrogenados químicos e a emissão de N₂O e CH₄ (Rochester, 2011; Abdalla *et al.*, 2014).

Salton *et al.* (2011) avaliaram os estoques de carbono no solo, em três localidades no Mato Grosso do Sul, submetidas a diferentes estratégias de utilização, como pastagem permanente, lavoura com plantio convencional ou direto e ILP com rotação entre anos de lavoura e de pasto. De forma geral, a pastagem permanente ou em rotação com lavouras aumentou os estoques de carbono no solo, principalmente na fração particulada. Os

menores estoques de carbono foram observados nos solos com lavouras anuais com plantio tradicional (Tabela 1). Os resultados mostraram a importância da integração do pasto em áreas de lavoura como forma de aumentar os estoques de carbono no solo.

Tabela 1. Estoques de carbono orgânico (Mg/ha) e taxas anuais de acúmulo de carbono (Mg/ha/ano) no solo, em diferentes sistemas de manejo e em três localidades do estado do Mato Grosso do Sul

Sistema de manejo	Estoque de carbono		Taxa de acúmulo de carbono absoluta
	Início do experimento*	2004	
Dourados			
L-PC	41,92	44,10	-0,0019
L-PD	41,92	42,60	-0,1687
S2P2d	41,92	48,02	0,4400
PPd	41,92	50,11	0,9089
VN	-	44,49	-
Maracaju			
L-PD	51,68	56,60	0,4473
S2P2d	51,68	61,39	0,8836
PPd	51,68	65,80	1,2836
PPb	51,68	66,97	1,3927
VN	-	68,66	-
Campo Grande			
L-PC	51,30	46,30	-0,4545
L-PD	51,30	47,40	-0,3545
S4P4	51,30	47,90	-0,3091
S1P3	51,30	50,50	-0,0727
PPd	51,30	53,50	0,2000
PP+L	51,30	58,60	0,6636
VN	-	54,00	-

*O intervalo entre o início e a mensuração final durou de nove a 11 anos.

L-PC- lavoura com plantio convencional; L-PD- lavoura com PD; S2P2d- rotação de soja por dois anos com pastagem (*U. decumbens*) por dois anos; S4P4- rotação de soja por quatro anos com pasto (*Megathyrus maximum*) por quatro anos; S1P3- rotação de soja por um ano (*U. brizantha*) e pasto por três anos; PPd- pasto permanente (*U. decumbens*); PPb- pasto permanente (*U. brizantha*); VN- vegetação nativa; PP+L- pastagem permanente (*U. decumbens*) consorciada com leguminosas.

Fonte: Adaptado de Salton *et al.* (2011).

Soares *et al.* (2019) observaram, em áreas com 26, 21 e 12 anos de avaliação, maior produção de palhada, maiores estoques de carbono e de nitrogênio no solo, em sistema com plantio de soja na safra, e de milho e *U. ruziziensis* na safrinha (pastejado ou não pastejado), em comparação a outros sistemas, como milho e feijão-guandu (*Cajanus cajan*), soja e sorgo, milho e *U. ruziziensis*, milho e milheto (*Pennisetum glaucum*) e milho com *Canavalia brasiliensis*, todos em sucessão de culturas. Já Salton *et al.* (2014), em experimento com 17 anos de duração, realizado em Dourados-MS, também encontraram melhores estoques de carbono, melhor qualidade do solo e maior produtividade animal e vegetal, em um sistema de ILP com PD e rotação a cada dois anos de lavoura de soja e aveia e pasto de *U. decumbens*, em comparação à rotação de milho e soja, no verão, e trigo, aveia ou nabo forrageiro (*Raphanus sativus*), no inverno com PD. A ILP com *U. decumbens* também foi superior ao sistema tradicional com rotação de soja

e aveia com plantio convencional. Segundo os autores, essa superioridade da ILP aos outros sistemas possibilita sua ampla utilização no Brasil como estratégia de desenvolvimento mais sustentável e rentável para os produtores e para o ambiente.

Ferreira *et al.* (2020), em Santa Helena de Goiás-GO, avaliaram, por nove anos, os ECS cultivados com plantio tradicional de algodão (*Gossypium hirsutum*) em monocultivo, com rotação de algodão com soja, com rotação de algodão, soja e milho ou com PD e rotação de soja + *U. ruziziensis*, de milho + *U. ruziziensis* e algodão, em diferentes arranjos. Os ECS também foram superiores com o PD, com valores na camada de 0 a 40 cm de 65,7 Mg C/ha nos sistemas com PD, de 54,8 Mg C/ha com o monocultivo de algodão, de 54,4 Mg C/ha com a rotação soja-algodão e de 54,7 Mg C/ha com a rotação algodão, milho e soja. O maior estoque de carbono com o PD foi atribuído à menor taxa de decomposição da matéria orgânica no solo e à maior incorporação de carbono no solo em razão do crescimento das raízes e da parte aérea da *Urochloa*. Além disso, a simples rotação de cultura sem a utilização de PD e a inserção de gramínea não foi capaz de aumentar os estoques de carbono, possivelmente pela baixa incorporação de carbono no solo pela palhada e pela maior decomposição de matéria orgânica no solo revolvido.

Em estudo semelhante, porém com 22 anos de duração, Sant-Anna *et al.* (2016) avaliaram os estoques de carbono e nitrogênio no solo ocupado por oito esquemas de manejo (pasto permanente, pasto permanente com leguminosa, lavoura contínua com PD, lavoura contínua com plantio tradicional, ILP com PD com quatro anos de pasto e quatro anos de lavoura, ILP com plantio tradicional com quatro anos de pasto e quatro anos de lavoura, ILP com PD com quatro anos de lavoura e quatro anos de pasto, ILP com plantio tradicional com quatro anos de lavoura e quatro anos de pasto) e com presença ou ausência de adubação. De forma geral, o aumento da fertilização não teve efeito nos estoques de carbono no solo. O aumento da fertilização desencadeou maior decomposição do carbono proveniente da vegetação nativa, fato que gerou tendência à redução do estoque de carbono no solo. O emprego de PD manteve os níveis de carbono no solo, e a utilização de plantio tradicional provocou perda de carbono. O uso de ILP aumentou os estoques de carbono no solo. Outro resultado importante é o maior acúmulo de carbono no solo com a utilização de leguminosas. Os autores ressaltaram os efeitos do PD e da ILP como alternativas para aumentar os estoques de carbono no solo.

Mathew *et al.* (2017), em metanálise global com 389 trabalhos, observaram que as forrageiras apresentaram maior produção de biomassa (19,8 Mg/ha/ano) seguida por cereais (9,44 Mg/ha/ano), fibras (7,90 Mg/ha/ano), legumes (3,29 Mg/ha/ano) e

oleaginosas (3,05 Mg/ha/ano). Além disso, as espécies utilizadas com fins de cultura alocaram mais carbono na parte aérea que nas raízes; já as forrageiras e os cereais alocaram a maior parte do carbono nas raízes. Esses resultados mostram que essas espécies são mais capazes de sequestrar carbono atmosférico e transportá-lo para o solo e indicadas para serem usadas em sistemas de ILP em consórcio com as culturas principais.

Em outra metanálise feita com dados pareados de 69 experimentos, Luo *et al.* (2010) afirmaram que, com mais de cinco anos de avaliação, os estoques de carbono no solo foram semelhantes entre o cultivo tradicional e o PD. Nesses experimentos, houve aumento de carbono de 3,15 Mg/ha na camada de 10 cm superior do solo e redução de 3,30 Mg/ha na camada de 20 a 40 cm com a conversão de plantio tradicional para PD. Segundo os autores, a capacidade do PD em sequestrar carbono parece estar mais ligada ao sistema de cultivo adotado, à adoção de maior frequência de plantio e ao plantio consorciado com outras espécies. Esses resultados indicam que a utilização apenas do PD pode ser insuficiente para aumentar os estoques de carbono do solo. Além disso, resultados da literatura mostraram que o consórcio simultâneo ou em rotação com pastagens pode ser uma alternativa promissora para aumentar os estoques de carbono no solo.

Também Maia *et al.* (2013) realizaram uma metanálise com dados nacionais nas regiões do Cerrado e da Amazônia e observaram aumento no estoque de carbono entre 9 e 16%, com a utilização de PD e de ILP. Siqueira Neto *et al.* (2010) avaliaram os estoques de carbono no solo em oito fazendas comerciais no estado de Goiás e observaram aumento médio no estoque de carbono, na camada de 0 a 30 cm, de 0,19 kg C/m²/ano com a utilização de PD e de ILP. Os estoques de carbono no solo ocupado com plantio por 12 anos foram semelhantes ao ocupado com vegetação nativa, entretanto, após 23 anos de cultivo tradicional, os estoques de carbono no solo foram 30% menores. Esses resultados mostram que, embora os estoques de carbono possam variar de acordo com diversos fatores, como composição do solo e condições ambientais, o PD e a ILP são alternativas viáveis em sistemas reais como estratégias para aumentar os estoques de carbono no solo e mitigar o efeito estufa.

Resultados semelhantes foram encontrados, por Boddey *et al.* (2010), em diferentes esquemas de rotação de cultura com plantio tradicional ou com PD por 15 anos em Passo Fundo-RS, por 17 anos em Cruz Alta-RS e por 26 anos em Santo Ângelo-RS, onde os estoques de carbono foram maiores no solo cultivado com PD. As taxas de

acúmulo de carbono no solo na camada de 0 a 100 cm com o PD variaram de 0,48 a 1,53 Mg C/ha/ano. As maiores taxas de acúmulo de carbono no solo foram observadas com a utilização de leguminosas na rotação de culturas. Esses resultados podem ocorrer pelo maior aporte e pela liberação mais lenta do nitrogênio no solo, pelo maior crescimento da biomassa aérea e de raiz e pela posterior incorporação do carbono no solo.

ESTOQUE DE CARBONO NO SOLO EM RAZÃO DA CONDIÇÃO PRODUTIVA DA PASTAGEM

O Brasil apresenta grande número de sistemas produtivos de ruminantes que utilizam pastagens como a base alimentar dos animais. Entretanto, em muitos desses sistemas, o manejo inadequado da lotação animal e da manutenção da fertilidade do solo gera a degradação das pastagens e a redução dos ECS nessas áreas. Segundo Soussana *et al.* (2010), existem manejos de pastagens que permitem a redução das perdas e o aumento do sequestro de carbono, como o não revolvimento do solo e a não conversão de pasto em culturas aráveis, a intensificação moderada da utilização de nutrientes em pastagens em solos pobres, a redução da intensidade de pastejo, a conversão de monoculturas de gramíneas para plantio consorciado de gramínea e leguminosas e o aumento da permanência de gramíneas em sistemas agrícolas com ILP. Além da melhoria dos indicadores ambientais, a adequação do manejo das pastagens permite maior retorno financeiro dos sistemas produtivos (Silva *et al.*, 2017).

O manejo inapropriado de pastagens com taxa de lotação desajustada e com ausência de adubações gera degradação. Nessas pastagens degradadas, a produtividade animal e a cobertura do solo diminuem, a área pode ser invadida por plantas daninhas e o solo geralmente se torna compactado. Entretanto, quando se realiza adequação da carga animal no pasto e adubações periódicas para manter a produtividade do pasto e a fertilidade do solo, as pastagens podem se manter produtivas por longos períodos e, conseqüentemente, os estoques de carbono no solo se manterão estáveis ou aumentarão (Carvalho *et al.*, 2018).

Santos *et al.* (2019) avaliaram os ECS com pastagens de *U. brizantha* cv. Piatã e cv. Arapoti, por 16 anos, no sul da Bahia, as quais receberam adubações regulares de N:P:K e controle da carga animal. Os solos com os dois cultivares apresentaram ganho médio de carbono de 20 Mg ha⁻¹ na camada de até 100 cm do solo. Nesses sistemas, houve decomposição do carbono proveniente da vegetação nativa (perda de 12,6 Mg C/ha), porém o carbono do solo foi substituído por carbono proveniente do pasto (ganho

de 43,2 Mg C/ha). Esses resultados demonstram que pastagens bem manejadas podem se manter produtivas e contribuir para os estoques de carbono no solo.

Resultados semelhantes foram encontrados por Segnini *et al.* (2019), que observaram estoques de carbono maiores nos solos ocupados com pastagens manejadas intensivamente com alta e média taxas de lotação e de adubação em comparação à pastagem degradada. Nesse trabalho, o tratamento que foi irrigado e manejado intensivamente reduziu os estoques de carbono no solo em relação aos tratamentos manejados sem irrigação, provavelmente pelo aumento da atividade microbiana e pela decomposição da matéria orgânica no solo. Segundo os autores, a aplicação de calcário e de fertilizantes possibilita grande crescimento da biomassa aérea e do sistema radicular das plantas, fato que permite o aumento do estoque de carbono no solo.

Braz *et al.* (2013) avaliaram os estoques de carbono nos solos ocupados com pastagem nativa, degradada ou produtiva, de quatro fazendas comerciais, em três estados (Mato Grosso do Sul, São Paulo e Minas Gerais), com solos característicos do Cerrado. O estoque de carbono foi maior nos solos com pastagem produtiva em comparação aos solos com pastagem nativa ou degradada (Tabela 2). Esses resultados demonstram que é possível manter ou até aumentar os estoques de carbono no solo com o estabelecimento de pastagens produtivas.

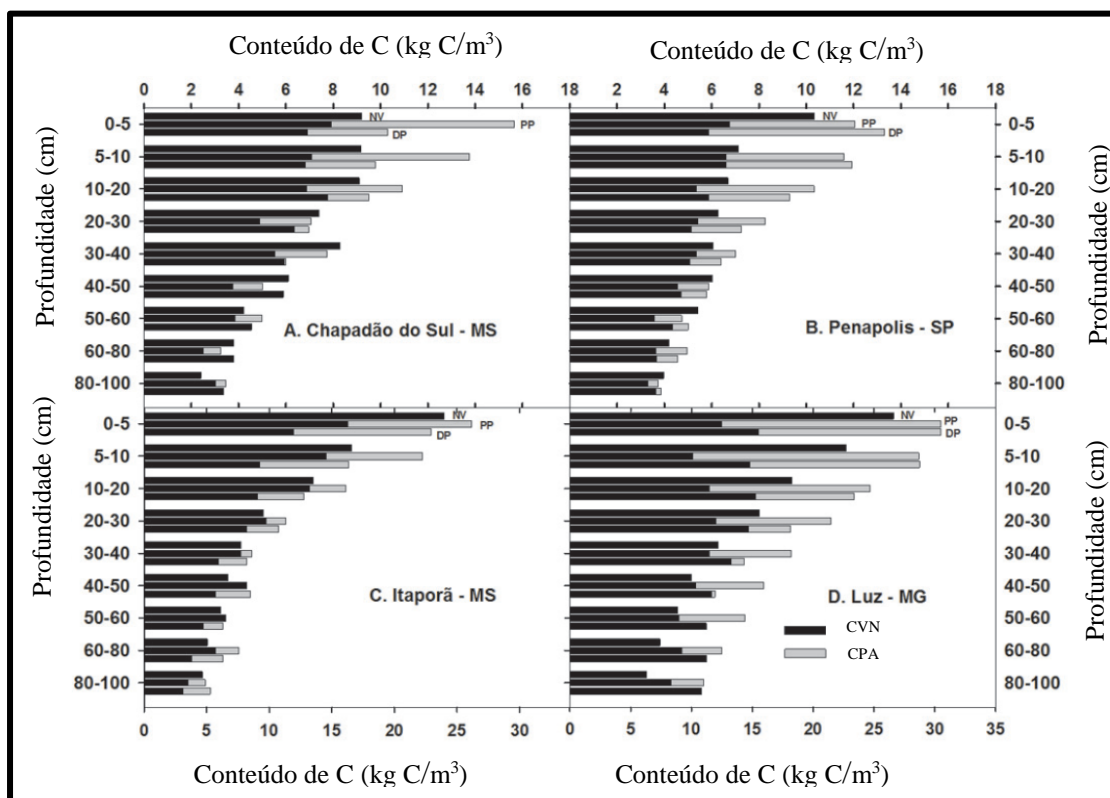
Tabela 2. Estoques de carbono (Mg/ha) corrigido para a densidade no solo, de acordo com a profundidade do solo e a situação do pasto

	0-30 cm			0-100 cm		
	Vegetação nativa	Pasto produtivo	Pasto degradado	Vegetação nativa	Pasto produtivo	Pasto degradado
Chapadão do Sul-MS	25,7	30,9	23,9	54,6	62,3	53,0
Penápolis- SP	21,7b	27,2a	26,5a	55,6b	62,0a	60,5a
Itaporã-MS	43,4	48,2	40,0	83,5	95,5	84,8
Luz-MG	58,5b	65,9a	61,9ab	117,1c	164,7a	138,1b

Médias seguidas por letras distintas, na mesma linha para a mesma profundidade, são diferentes pelo teste T ($p < 0,05$). Fonte: Adaptado de Braz *et al.* (2013).

Os solos com maior conteúdo de argila tiveram maior acúmulo de matéria orgânica com alta relação C/N, fato que evidencia que essa MOS é proveniente das raízes da *Urochloa* (Figura 2). A abundância de ^{13}C e a relação C/N sugeriram que a MOS da pastagem nativa é perdida com baixas taxas e que, no pasto produtivo, há troca do carbono natural pelo proveniente das raízes da *Urochloa*.

Figura 2. Estimativa do carbono derivado da vegetação nativa (CVN) e da *Urochloa* (CPA) na camada do solo de 0 a 100 cm, em solo ocupado com vegetação nativa (VN), pastagem produtiva (PP) ou pastagem degradada (DP), em quatro fazendas localizadas na região do Cerrado



Fonte: Adaptado de Braz *et al.* (2013).

Resultados semelhantes foram encontrados por Maia *et al.* (2009), em 11 ecorregiões, nos estados de Rondônia e de Mato Grosso, em que os estoques de carbono foram maiores nos solos ocupados por pastagem produtiva em relação aos ocupados por pastagem com nível médio de produtividade e por pastagens degradadas. Esses resultados corroboram os dados da literatura, que mostram que a intensificação e o manejo adequado das pastagens são alternativas para aumentar os estoques de carbono no solo e reduzir as emissões de GEE. Além disso, em alguns locais, os solos com pastagens degradadas mantiveram estoques de carbono similares aos com vegetação nativa. Segundo os autores, esse fato pode ocorrer pela presença de raízes e resto da vegetação nativa ainda em decomposição, pelo erro na classificação da pastagem quanto ao grau de degradação e pela adição de carbono orgânico no solo pela presença de muitas plantas daninhas.

A taxa de acúmulo de carbono foi maior nos ultissolos em relação aos latossolos nas ecorregiões. A principal característica que distingue os latossolos dos ultissolos é a

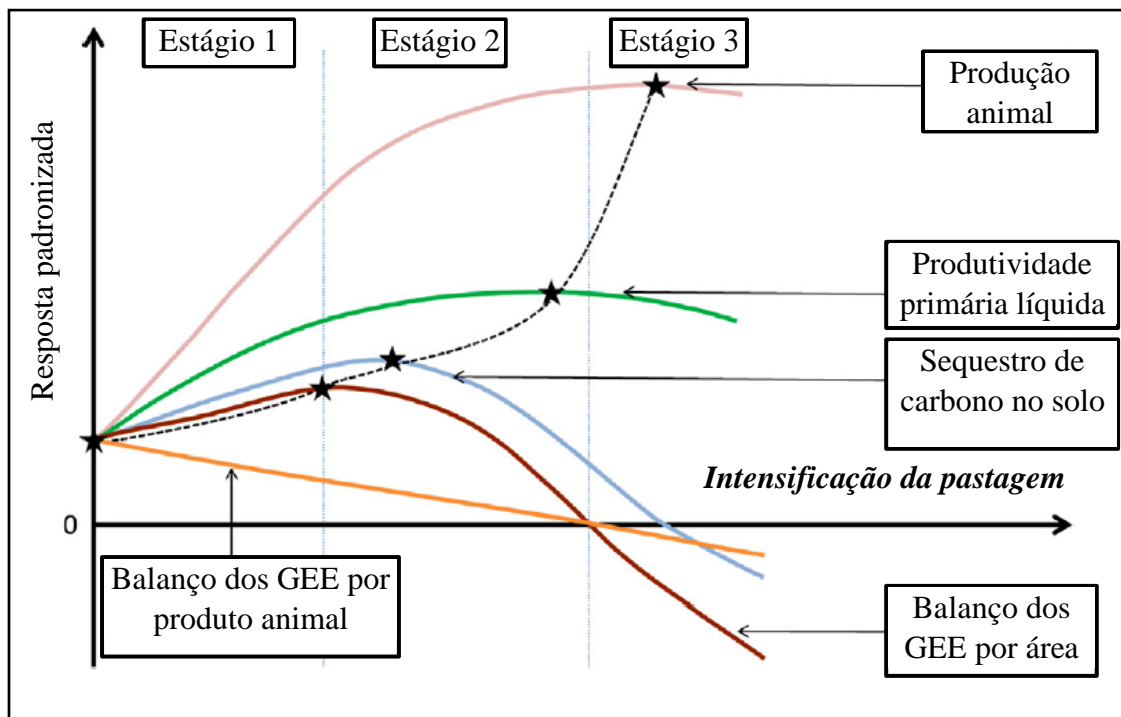
maior acumulação de argila na subsuperfície nos ultissolos. Nestes, o maior teor de argila pode aumentar a retenção de água e reduzir a condutividade hídrica. Além disso, a saturação de bases (Ca, Mg e K) e a disponibilidade de nutrientes nos ultissolos são maiores em relação aos latossolos. Segundo os autores, uma possível explicação para o maior acúmulo de carbono consiste em que o maior conteúdo de água e a maior disponibilidade de nutrientes aumentam a produção de forragem e a inclusão de carbono no solo.

A intensificação dos sistemas de produção e o melhoramento animal e vegetal têm gerado mudança no uso de recursos para o aumento da produtividade animal, porém aumentam também os impactos ambientais. Os sistemas que utilizam pastagens podem exercer impactos positivos no ambiente, como proteção da qualidade do solo, preservação da qualidade da água, prevenção de erosão, manutenção do estoque de carbono, aumento da biodiversidade local e manutenção do equilíbrio nos ciclos de carbono e nitrogênio (Lemaire, 2012). Entretanto, quando mal manejadas, as pastagens podem exercer efeitos negativos na preservação do ambiente.

Em sistemas que utilizam pastagens, o balanço de carbono é influenciado pela taxa de fotossíntese, pelo acúmulo de biomassa na planta e pela posterior decomposição, inserção e manutenção do carbono no solo. O aumento do revolvimento do solo eleva a decomposição da matéria orgânica e pode tornar maior o fluxo de carbono do solo para a atmosfera. A utilização de grande volume de fertilizante aumenta as emissões de N_2O e também potencializa o efeito estufa. Além disso, altas taxas de lotação elevam as emissões de CH_4 e N_2O , e a grande colheita de biomassa reduz a renovação de carbono no solo (Soussana *et al.*, 2010).

Essas interações entre adubações e reposições de nutrientes, intensidade e frequência de pastejo, características edafoclimáticas, manejos do solo e espécies utilizadas geram uma série de interações dentro dos sistemas produtivos, as quais, juntas, determinam o equilíbrio do sistema. Soussana e Lemaire (2014) propuseram que, durante a fase inicial da intensificação dos sistemas que utilizam pastagem, há aumento concomitante na produção animal e nos estoques de carbono, fato que resulta em melhor balanço nos GEE. Entretanto, com o aumento da intensificação, a produção animal continua subindo, porém as emissões de CH_4 e N_2O também aumentam, os estoques de carbono no solo diminuem e o balanço geral dos GEE é reduzido (Figura 3).

Figura 3. Efeito da intensificação de pastagem pelos aumentos da pressão de pastejo e de adubações na produção animal, na produtividade primária líquida, no sequestro de carbono no solo e no balanço de GEE por área e por produto animal



Estrelas nas linhas tracejadas mostram os valores máximos.

Fonte: Adaptado de Soussana e Lemaire (2014).

Segundo os autores, a intensificação intermediária dos sistemas juntamente com a adoção de manejos, como recuperação de pastagens (reforma, adubações de manutenção e ajuste da carga animal), utilização de PD e ILP (principalmente com rotação de pasto e lavoura e utilização contínua de PD e cobertura do solo), plantio consorciado de gramíneas com leguminosas (principalmente as capazes de nodular e fixar nitrogênio no solo) e utilização de pastagem com raízes vigorosas, são capazes de manter o equilíbrio entre produção animal e manutenção dos recursos ambientais. É necessário acrescentar a essa discussão a eficiência produtiva e o retorno econômico dos sistemas. Os sistemas que apresentam alta produtividade animal ou grande preservação ambiental, mas que reduzem drasticamente o rendimento econômico do sistema, podem comprometer a permanência do produtor na atividade. Dessa forma, é fundamental lembrar que o equilíbrio entre produção animal e preservação ambiental precisa estar vinculado ao retorno financeiro e à manutenção dos sistemas produtivos.

Sistemas de produção que usam PD, rotação de culturas e ILP podem manter ou aumentar a matéria orgânica do solo, principalmente nas camadas superficiais. A maior produção de raízes no pasto sob pastejo é capaz de acumular carbono no solo e funcionar como dreno de carbono atmosférico. O manejo do pasto de acordo com a altura do resíduo

afeta a ciclagem de nutrientes e os estoques de carbono e nitrogênio no solo. Pastos manejados com altas intensidades de pastejo e baixa altura de resíduo podem ser mais vulneráveis a perdas de carbono no solo devido a características da planta, à menor deposição de biomassa e de acumulação de matéria orgânica na superfície do solo. Portanto, sistemas que possibilitam maior retorno desses nutrientes para o solo por meio da degradação dos resíduos de cultura e do pasto permitem maior estoque de carbono no solo em longo prazo (Ribeiro *et al.*, 2019).

Os estoques de carbono e nitrogênio no solo foram analisados durante cinco anos, na China, por He *et al.* (2011), com taxas de lotação de 0; 1,5; 3,0; 4,5; 6,0; 7,5 e 9,0 ovelhas por hectare. Os estoques de carbono e nitrogênio no solo reduziram-se linearmente nas camadas de 0 a 10 cm e de 10 a 30 cm com o aumento da taxa de lotação. A transformação do *status* do solo entre perda e sequestro de carbono ocorreu com 4,5 ovelhas/ha. Esses resultados mostram que a intensidade de pastejo pode atuar como fator determinante no fluxo de carbono no sistema, principalmente pelo volume de biomassa decomposta. Além disso, lotações intermediárias parecem ser o ponto de equilíbrio entre maior produção por área e preservação ambiental.

Em experimento semelhante com variação na altura do resíduo do pasto, Assmann *et al.* (2013) avaliaram os estoques de carbono e de nitrogênio em latossolo argiloso no Rio Grande do Sul, em uma área manejada com PD de soja (*Glycine max*) na safra e pasto de azevém (*Lolium multiflorum*) e aveia (*Avena sativa*) na entressafra, com pressão de pastejo para manter a altura da forragem em 10, 20, 30 e 40 cm de altura ou o pasto não pastejado. As pressões de pastejos moderada e baixa (altura de 20, 30 e 40) resultaram em aumento similar no carbono orgânico e nitrogênio totais e no carbono orgânico e nitrogênio particulado totais. O tratamento com 10 cm de altura de pastejo gerou uma perda de nitrogênio do solo de 1,17 Mg ha⁻¹ devido à degradação da matéria orgânica do solo, fato que mostra que a utilização de altas intensidades de pastejo não são sustentáveis por longos períodos.

Baixas alturas de pastejo provocam alta desfolhação da forragem e podem limitar a capacidade fotossintética do pasto, a produção de biomassa e o acúmulo de carbono via decomposição. Por outro lado, intensidades moderadas de pastejo podem gerar equilíbrio entre pastejo e desenvolvimento da forrageira. Esse fato pode contribuir para a acumulação total de resíduo. A contínua adição de matéria orgânica é importante para o carbono na matéria orgânica particulada (POM-C) e na associada à mineral (MAC). Maiores POM-C garantem fluxo positivo de carbono no solo pela manutenção ou pelo

aumento da atividade biológica do solo. Baixas adições de carbono causam oxidação da matéria orgânica, redução do estoque de carbono, que, junto à respiração microbiana, podem gerar degradação e perda de qualidade do solo.

Resultados semelhantes foram encontrados por Silva *et al.* (2013), no Rio Grande do Sul, os quais avaliaram a dinâmica do carbono no solo por 10 anos, em um sistema de ILP com plantio de lavoura de soja no verão e com plantio de pasto de azevém consorciado com aveia no inverno e manejado com altura de pastejo de 10, 20, 30 ou 40 cm. A utilização de pastejo intensivo emitiu 0,04 Mg C/ha/ano, e a de pastejo menos intensivo drenou de 0,25 a 0,37 Mg C/ha/ano. O pastejo intensivo reduziu a cobertura e a inclusão total de carbono no solo, embora proporcionalmente tenha reduzido o carbono proveniente do pasto e aumentado o proveniente da soja. Segundo os autores, a utilização das alturas de pastejo de 20 a 40 cm é a mais apropriada para remover carbono atmosférico e a de 20 cm foi a que apresentou melhor balanço entre estoque de carbono, índice de manejo de carbono e desempenho animal.

Um aspecto muito relevante quando se utiliza a área da ILP para pastejo na entressafra é o equilíbrio entre biomassa pastejada e biomassa deixada como palhada para o PD. Além do efeito na redução dos estoques de carbono e nitrogênio no solo quando se utiliza alta pressão de pastejo, esse manejo também pode influenciar a produtividade da lavoura na safra. Em situações que utilizam maiores pressões de pastejo, geralmente se obtém maior produção animal. Entretanto, nessas situações, há redução na biomassa que servirá de palhada para o próximo plantio; além disso, a qualidade do solo e a produtividade da próxima lavoura podem ser reduzidas. Por outro lado, quando se utilizam baixas pressões de pastejo, o desempenho da lavoura é maximizado e o desempenho animal pode ser reduzido (Carvalho *et al.*, 2010C; Carvalho *et al.*, 2018).

EMISSÕES DE CH₄ E N₂O EM ILP

As emissões de N₂O no planeta Terra podem ser divididas em antropogênicas e naturais. As antropogênicas emitem aproximadamente 6,9 Tg N₂O/ano; entre essas, a agricultura (4,1 Tg N₂O/ano), a combustão de combustíveis fósseis e os processos industriais (0,7 Tg N₂O/ano), bem como a biomassa e a queima de biocombustível (0,7 Tg N₂O/ano) são os principais emissores. Já as emissões naturais somam 11,0 Tg N₂O/ano e, entre essas, os solos com vegetação nativa (6,6 Tg N₂O/ano) e os oceanos (3,8 Tg N₂O/ano) são os principais emissores (Ciais *et al.*, 2013). Portanto, as ações de toda a sociedade devem buscar a mitigação das emissões antropogênicas, como a utilização de fontes energéticas mais limpas e a conscientização do padrão de consumo social. No meio

agropecuário, a melhoria do manejo dos sistemas, como utilização de leguminosas fixadoras de nitrogênio, o aumento da eficiência de uso de nitrogênio proveniente de fertilizantes minerais e a utilização de PD e de ILP são estratégias capazes de reduzir as emissões de N₂O.

No solo, a produção de N₂O é resultante predominantemente de processos microbianos, como a nitrificação, a desnitrificação, a desnitrificação nitrificadora e a amonificação de nitrato. O processo aeróbio de nitrificação autotrófica que envolve a oxidação de amônia por bactérias *Nitrosomonas* sp. e *Nitrospira* sp. e o anaeróbio de desnitrificação heterotrófica a partir de carbono e nitrato que envolve muitas bactérias, *Archaea* e fungos são os principais processos de produção de N₂O. A desnitrificação nitrificadora envolve a oxidação de amônia em nitrato e a posterior redução de nitrato a N₂O, em processo realizado por bactérias oxidantes de amônia. A amonificação de nitrato é considerada um processo menos importante e ocorre em ambientes sem limitação de carbono, concomitantemente à desnitrificação em ambientes anaeróbios. Junto aos processos microbianos, a produção de N₂O pode ocorrer por quimodenitrificação, pela reação do nitrito com constituintes da matéria orgânica ou pela redução do nitrato pelo ferro (Baggs e Phillipot, 2010).

A regulação desses processos está relacionada com as condições físicas do solo, como aeração (a porosidade e a distribuição do tamanho dos poros, a difusividade de gás, o grau de agregação, a compactação, o teor de umidade – como preenchimento de água do espaço dos poros (water fill pore-space-WFPS) – e a respiração do solo), a temperatura do solo, o manejo do solo (taxa de aplicação de N, irrigação e intensificação produtiva) e a disponibilidade de substratos, como frações lábeis de carbono e nitrogênio (Cosentino *et al.*, 2013; Rashti *et al.*, 2015; Gao *et al.*, 2017; Smith, 2017). Maiores emissões geralmente são observadas em condições com maiores temperaturas, maior WFPS, menor aeração e maior aporte de nutrientes após adubações.

Segundo Butterbach-Bahl *et al.* (2013), a umidade do solo (WFPS de aproximadamente 70 a 80%) é o principal fator determinante das emissões de N₂O pelo solo. O aumento da temperatura também pode influenciar as emissões de N₂O, por meio do aumento dos processos enzimáticos que envolvem a produção de N₂O e do aumento da respiração e da redução do oxigênio do solo. Esses processos afetam diretamente a formação de ambiente de anaerobiose que, juntamente à disponibilidade de nutrientes, interfere na produção de N₂O. Meurer *et al.* (2016) também destacaram que, em solos

bem drenados e aerados com formação de agregados estáveis e com melhor estrutura do solo, há menor emissão de N₂O.

Ussiri *et al.* (2009), em Ohio, nos Estados Unidos, observaram menores emissões de N₂O no plantio contínuo de milho, por 23 anos, em PD, em comparação ao plantio tradicional. O solo em PD também funcionou como dreno de CH₄, enquanto o plantio tradicional foi fonte de CH₄ para a atmosfera. O revolvimento do solo expõe os substratos orgânicos para a decomposição e pode aumentar a emissão de N₂O pelo processo de nitrificação na presença de oxigênio. Além disso, o revolvimento do solo pode modificar a estrutura e o nicho ecológico de bactérias metanotróficas (oxidam CH₄) e diminuir a oxidação de CH₄, bem como criar ambiente adequado para as metanogênicas. Por outro lado, o PD melhora a macroporosidade e a difusão de oxigênio do solo, fato que reduz a produção de CH₄.

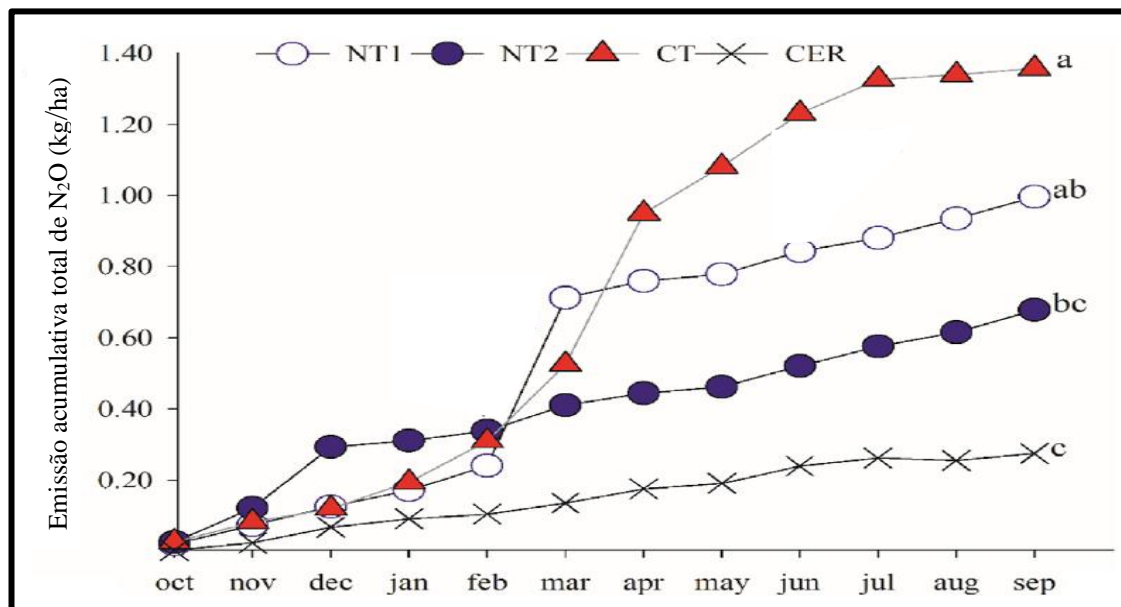
Em experimento com 19 anos de duração e que avaliou alta ou baixa quantidade de cobertura do solo em PD, Bayer *et al.* (2012) observaram consumo ou produção de CH₄ de acordo com a estação do ano, o manejo da palhada e o sistema de plantio. De forma geral, houve pequena redução na emissão de CH₄ no sistema com alta produção de palhada. Segundo os autores, em locais com alta produção de palhada em PD, a melhoria das características do solo pode reduzir as emissões de CH₄. Entretanto, pode haver grande fixação de nitrogênio no solo, o que prejudica a atividade de bactérias metanotróficas, fato que pode reduzir a oxidação de CH₄.

Piva *et al.* (2012) também observaram menor emissão de N₂O e CH₄ por solos cultivados com PD, em comparação ao plantio tradicional. Em metanálise com 239 trabalhos, Kessel *et al.* (2012) avaliaram a influência do PD ou do cultivo reduzido do solo na emissão de N₂O e não observaram alterações gerais nas emissões de N₂O. Todavia, as emissões foram significativamente menores nas áreas com PD e com mais de 10 anos de cultivo. Além disso, a substituição parcial das adubações nitrogenadas em áreas de PD reduziu as emissões de N₂O. Muitos fatores, como temperatura e umidade do solo, aeração e comunidades microbianas, podem alterar as emissões de N₂O. Os autores sugeriram que o aumento do conteúdo de matéria orgânica pode melhorar a estrutura e a aeração do solo, reduzir os ambientes anaeróbicos e a produção de N₂O.

Figueiredo *et al.* (2017) avaliaram a relação entre as frações da matéria orgânica no solo e as emissões de N₂O em dois sistemas com PD (soja seguida de sorgo (NT1) e milho seguido por feijão-guandu (NT2)), em um sistema com plantio tradicional de soja seguido de pousio (CT) e no Cerrado nativo (CER). Os estoques de carbono e de

nitrogênio foram menores com o plantio tradicional e semelhantes com o PD em comparação ao Cerrado nativo. Os sistemas em PD foram mais eficientes em acumular frações lábeis e estáveis de carbono no solo em comparação ao plantio tradicional, e muito semelhantes ao Cerrado nativo. Essas maiores frações foram diretamente correlacionadas com a menor emissão de N₂O. Mesma tendência foi observada para a emissão de N₂O, com menores valores no PD em comparação ao plantio tradicional (Figura 4). Segundo os autores, a conservação das vegetações naturais e a conversão de plantio convencional em direto são estratégias para reduzir as emissões de GEE. A mesma tendência foi observada por Santos *et al.* (2016), em que os solos em sistemas com PD emitiram menos N₂O que os em plantio convencional.

Figura 4. Emissões acumulativas de N₂O no solo, em diferentes sistemas de manejo



NT1 = soja seguida de sorgo; NT2 = milho seguido de feijão-guandu, CT = plantio tradicional de soja seguido de pousio; e CER = cerrado nativo. Fonte: Adaptado de Figueiredo *et al.* (2017).

Frações lábeis, como a matéria orgânica particulada no solo, apresentam maior *turnover* de carbono, e as frações inertes e húmicas são mais resistentes à decomposição bacteriana. Dessa forma, a deterioração da estrutura do solo pelos tratos culturais, em sistemas com plantio tradicional, reduz as frações lábeis e pode aumentar as emissões de N₂O. Por outro lado, o PD, por não revolver constantemente o solo, é mais capaz de manter as frações lábeis no solo, aumentar os agregados estáveis e a proteção contra a oxidação microbiana.

Sato *et al.* (2017) mensuraram o fluxo de N₂O no solo de dois sistemas de lavoura contínua com PD ou convencional e da ILP com a rotação de quatro anos de pasto e quatro

anos com lavoura. O sistema com cultivo constante e com plantio convencional teve maior emissão de N₂O, seguido do sistema com cultivo constante e PD e da ILP. Os maiores fluxos de N₂O foram observados após as adubações nitrogenadas e as chuvas. Esses resultados, além de indicarem que a utilização de PD e a de ILP podem reduzir as emissões de N₂O, mostram que a melhoria no manejo das adubações e a utilização de leguminosas fixadoras de nitrogênio podem reduzir as emissões de GEE.

Em trabalho complementar, o mesmo grupo de pesquisa também observou maior emissão de N₂O no solo em plantio convencional e contínuo em relação à ILP e ao PD (Sato *et al.*, 2019). Os autores explicaram que a menor emissão de N₂O no solo em ILP decorre da maior decomposição de resíduo da cultura e da presença da gramínea. Esses fatores aumentam o carbono no solo, principalmente nas frações mais estáveis e oclusas em microagregados. Além disso, a análise de componentes principais mostrou que a agregação e a melhoria da estrutura do solo foram correlatas à menor emissão de N₂O. A formação de agregados pode possibilitar a maior difusividade de O₂ e inibir a emissão de N₂O pelo processo anaeróbico de desnitrificação. Por outro lado, o revolvimento do solo no plantio convencional reduz o carbono em todas as frações do solo, sobretudo nas frações mais estáveis e protegidas da decomposição microbiana, fato que aumenta a emissão de N₂O.

As emissões de N₂O em solos agrícolas são influenciadas pelo revolvimento do solo (aumenta a aeração e a decomposição de MOS e modifica a microbiota), pela acidez (reduz a taxa de nitrificação e de desnitrificação), pelas excretas de animais (são fontes de nitrogênio e carbono para a microbiota), pelo alto conteúdo de água (reduz a aeração e promove ambiente com anaerobiose) e pelo uso de fertilizantes nitrogenados (aumenta a disponibilidade de nitrogênio). Além disso, em ILP, pode haver menor emissão de GEE em razão da liberação de inibidor biológico da nitrificação pelas raízes da *Urochloa*, que bloqueia a via enzimática da *Nitrosomonas* sp. (Subbarao *et al.*, 2015). A grande imobilização de nitrogênio para o crescimento do pasto também pode reduzir a disponibilidade de nitrogênio para as bactérias nos processos de nitrificação e de desnitrificação.

Campanha *et al.* (2019) avaliaram as emissões de N₂O no solo durante o ciclo produtivo de milho em PD ou convencional e durante a utilização ou não de adubação nitrogenada com 257 kg N/ha. Nos sistemas adubados, a emissão foi maior no solo com plantio tradicional (-21 µg/m²/hora a 548 µg/m²/hora N₂O) em comparação ao com PD (-21 µg/m²/hora a 380 µg/m²/hora N₂O). Os sistemas adubados tiveram emissões

acumuladas de N₂O aproximadamente 10 vezes maiores que os sistemas sem fertilização. Nos sistemas adubados, a eficiência produtiva foi maior com o PD, com 796 mg N₂O/kg de grão produzido com o plantio tradicional e 391 mg N₂O/kg de grão produzido com o PD. Os resultados mostram que o tipo de plantio e a adubação influenciam as emissões de N₂O. Portanto, é necessário desenvolver estratégias que objetivem o aumento da eficiência do uso de fertilizantes nitrogenados (fonte, taxa, modo e tempo de aplicação) e a redução das emissões de N₂O (Martins *et al.*, 2015; Liu *et al.*, 2020).

Constituem estratégias para melhorar a eficiência das adubações e reduzir as emissões de N₂O no solo: a utilização de doses de adubação nitrogenada de acordo com os requerimentos das culturas, o uso de fontes com liberação mais lenta de nitrogênio, o emprego de inibidores da nitrificação, a utilização de inibidores de urease, a divisão das adubações em subdoses menores, a aplicação sincronizada do adubo com o tempo correto de maior crescimento e a exigência da planta, o uso de PD na palha e de leguminosas fixadoras de N (Sanz-Cobena *et al.*, 2014; Bell *et al.*, 2016; Huang *et al.*, 2015; Peyrard *et al.*, 2016; Plaza-Bonilla *et al.*, 2018; Kuang *et al.*, 2019; Banger *et al.*, 2020).

A fertilização excessiva, além de gerar impactos ambientais negativos, pode causar perdas econômicas, como o aumento dos custos de produção, reduzir os recursos energéticos e aumentar as emissões de GEE. A aplicação excessiva de nitrogênio provoca perda desse nutriente por volatilização, lixiviação e desnitrificação, fato que ocasiona redução na eficiência do uso de nitrogênio. Em levantamento feito por Pires *et al.* (2015) no Brasil, foi observado aumento na utilização de fertilizantes nitrogenados e redução de 74% na eficiência de uso de nitrogênio nos últimos anos, e as emissões de CO₂ eq. provenientes de fertilizantes nitrogenados foram 12 vezes maiores em 2011 que em 1970.

Os autores também citaram, como estratégias para aumentar a eficiência de uso do nitrogênio, a melhoria do tempo de aplicação, a divisão das aplicações, a rotação e a diversificação de culturas, a análise de solo, a utilização de leguminosas fixadoras de nitrogênio, a melhoria dos tratos culturais da cultura, a melhoria genética para plantas mais eficientes, o uso de inibidores da nitrificação, de PD e de fontes de nitrogênio com liberação mais lenta.

Nos sistemas produtivos, há sempre o dilema entre a aplicação de doses aceitáveis ou de doses desejáveis, pois a dose efetivamente aplicada sofre influência de diversos atores, como os fazendeiros, os extensionistas, os pesquisadores, as indústrias e as políticas públicas. Dessa forma, nem sempre há preocupação em se estabelecer equilíbrio entre a produtividade das culturas, a eficiência de uso de nitrogênio, a redução dos custos

de produção e a redução dos impactos ambientais. É importante ressaltar que o incentivo à utilização de altas doses de nitrogênio inevitavelmente reduz a eficiência de uso do nutriente. Além disso, pela lei do mínimo retorno, o aumento da produtividade tende a ser menor em razão do aumento da dose de nitrogênio, fato que reduz a eficiência de uso.

Vieira *et al.* (2009) avaliaram rotações de milho no verão e plantas de cobertura no inverno, por 19 anos, com ou sem adubação, com 145 kg N/ha/ano. A adubação nitrogenada foi eficiente em aumentar os estoques de carbono no solo apenas nos tratamentos que utilizaram milho sem rotação com leguminosas no verão, principalmente pelo aumento da produção de biomassa do milho. Por outro lado, os maiores estoques de carbono foram observados no solo ocupado com as rotações com leguminosa sem adubação. Isso ocorreu provavelmente pelo maior e mais lento aporte de nitrogênio para as plantas, pelo maior crescimento da biomassa aérea e pela posterior incorporação de carbono no solo. Os autores ressaltaram que, além dos maiores estoques de carbono, a utilização de leguminosas pode reduzir as emissões de GEE em comparação aos sistemas que usam fertilização nitrogenada. Fertilizantes como a ureia emitem grandes quantidades de CO₂ na sua produção e de N₂O na sua aplicação do solo.

Além do sistema de plantio utilizado, as espécies empregadas e as adubações podem alterar o balanço de carbono no solo. Souza *et al.* (2016), em Planaltina-DF, avaliaram, por 11 anos, as frações de carbono no solo cultivado com plantio tradicional e milheto como cultura de cobertura, com PD com milheto como cultura de cobertura, com PD com *Mucuna aterrima* como cultura de cobertura e a aplicação ou não de 100 kg/ha/ano de P₂O₅ na forma de superfosfato triplo. A utilização de PD aumentou o conteúdo de carbono orgânico no solo em relação ao plantio convencional. A cobertura do solo com milheto resultou em melhor estoque de carbono no solo em relação à cobertura com mucuna. O principal resultado mostrou que a aplicação de fósforo aumentou o nível de carbono orgânico particulado e do carbono na massa microbiana, principalmente na camada superior do solo. Esse fato ocorre provavelmente pela maior produção de biomassa na cultura principal e na de cobertura e pela posterior incorporação no solo, bem como pelo maior crescimento do sistema radicular. Esses resultados mostram a importância de se estabelecerem adubações adequadas, mesmo com a utilização de PD, como estratégia de aumentar os estoques de carbono e a qualidade do solo.

Restovich *et al.* (2019) estudaram o efeito da adubação do milho com 32 kg de N/ha na rotação com a soja no verão, em sucessão a diferentes lavouras de cobertura no

inverno (grama da salvação (*Bromus unioloides*), azevém, aveia, cevada (*Hordeum vulgare*), colza (*Brassica napus*), nabo forrageiro, vicia (*Vicia sativa*) e a mistura de aveia e vicia), sobre a qualidade do solo e nos estoques de C e N. As lavouras de cobertura aumentaram os estoques de carbono, a estabilidade de agregação, a porosidade do solo, e a vicia também aumentou os estoques de nitrogênio no solo nos tratamentos sem adubação. Esses resultados provavelmente estão ligados ao aumento dos resíduos no solo deixados pelas lavouras de cobertura, à redução da lixiviação de nitrogênio e à fixação de nitrogênio pelas leguminosas. Nos tratamentos sem adubação, a estabilidade de agregação foi associada com as concentrações de glomalina (glicoproteína produzida por fungos micorrízicos arbusculares, que tem sido associada à formação e estabilização dos agregados) no solo. A utilização de plantas de coberturas em associação a baixas doses de adubações nitrogenadas permitiu restaurar a qualidade de solo e manter a produtividade do sistema.

As emissões de N₂O são mais ligadas às adubações nitrogenadas do que ao sistema de plantio. Portanto, estratégias que permitam a redução das doses de adubações nitrogenadas e mantenham o nível produtivo das lavouras são fundamentais para melhorar a sustentabilidade da agropecuária (Pelster *et al.*, 2011). No Rio Grande do Sul, Bayer *et al.* (2015) estabeleceram dois experimentos com o objetivo de avaliar as emissões de N₂O. No primeiro, foi avaliado o efeito de PD ou convencional com a rotação de aveia e milho ou de vicia e milho e, no segundo, foi avaliada a adubação de 180 kg N/ha proveniente de ureia (mineral) ou de resíduo de vicia (biologicamente fixado pela leguminosa). As emissões de N₂O foram semelhantes entre o plantio tradicional ou o PD. Porém, as emissões foram aproximadamente quatro vezes maiores com o resíduo de vicia (0,4 kg N/ha) em comparação ao resíduo de aveia (0,1 kg N/ha).

A maior emissão de N₂O com o resíduo da leguminosa foi correlacionado ao maior conteúdo de NO₃⁻-N, NH₄⁺-N e carbono orgânico dissolvido, que são substratos para os processos de nitrificação e desnitrificação e a emissão de N₂O. Além disso, as emissões de N₂O foram três vezes maiores com a utilização de ureia (0,44% do N aplicado) em comparação à utilização de resíduo de leguminosa (0,13% de N aplicado), provavelmente pela liberação mais lenta do nitrogênio proveniente da leguminosa. Segundo os autores, os resultados mostram que a substituição, mesmo que parcial, das adubações com fontes minerais por fontes vegetais é alternativa para a redução das emissões de N₂O e a manutenção da produtividade dos sistemas.

Piva *et al.* (2013) avaliaram, no Paraná, as emissões de N₂O e CH₄ em um sistema com plantio de milho adubado no verão e cultivo de azevém no inverno apenas como cobertura do solo sem adubação nitrogenada ou com adubação nitrogenada para pastejo de novilhas no inverno. As emissões de N₂O no pasto adubado foram mais que o triplo das observadas no pasto não adubado, provavelmente em razão da adubação nitrogenada e da compactação superficial do solo. As emissões de CH₄ e os estoques de carbono não foram afetados significativamente pelos tratamentos. Devido à maior emissão de N₂O, as emissões líquidas de GEE também foram maiores no sistema fertilizado. Entretanto, é necessário realizar análises com maior duração e análises de ciclo de vida e considerar todas as entradas e saídas de recursos do sistema (como o ganho de peso animal, que não foi considerado nesse trabalho) para entender como as adubações impactam o balanço geral do sistema.

Pastagens são frequentemente fertilizadas para manter a produtividade do pasto e podem emitir quantidades consideráveis de N₂O para a atmosfera. Animais em pastejo impactam os ciclos de carbono e de nitrogênio pela desfolhação do pasto, o retorno de excretas para o pasto, as atividades metabólicas, a emissão de CH₄ entérico e os distúrbios mecânicos no ambiente. Em sistemas de ILP, a entrada de nitrogênio acontece pela aplicação de fertilizante na pastagem ou na lavoura, pela fixação biológica por leguminosas, pela decomposição de palhadas e pelas excretas de animais (Zotarelli *et al.*, 2012; Zanatta *et al.*, 2019). A maior parte do N₂O emitido acontece após a fertilização química dos sistemas pela nitrificação e desnitrificação e pelas excretas dos animais (Sordi *et al.*, 2013).

Allard *et al.* (2007) levantaram a hipótese de que o manejo extensivo do pasto (sem adubação) poderia reduzir as emissões de CH₄ e de N₂O e aumentar o estoque de carbono. Para testar essa hipótese, os autores avaliaram o ciclo de carbono em um sistema extensivo (sem adubação) e em um sistema intensivo (adubação de 80, 174 e 176 kg N/ha/ano em três aplicações de nitrato de amônio) implantado em Andosolo, na França (16% de argila, 56% de silte e 28% de areia), e pastejado por novilhas da raça Holandês durante três anos.

Na média dos três anos, o sistema intensivo teve retirada líquida de CO₂ atmosférico de 97 g CO₂-C/m²/ano e o extensivo retirou 75 g CO₂-C/m²/ano. As emissões de CH₄ por área foram maiores no sistema intensivo, porém as emissões por ganho de peso vivo foram semelhantes entre os sistemas. A emissão de N₂O foi maior no sistema intensivo e, junto à emissão de CH₄, reduziu em 89% a retirada de carbono atmosférico

no sistema intensivo e em 55% no extensivo. O balanço dos gases do efeito estufa (GEE) foi de -10 g CO₂-C no sistema intensivo e de -31 g CO₂-C no extensivo. Entretanto, a produtividade líquida do bioma e a retirada dos GEE aumentaram no sistema intensivo ao longo do experimento. Os autores concluíram que a não utilização de fertilização nitrogenada, combinada com a redução da pressão de pastejo, não foi eficiente em aumentar a retirada de GEE por unidade de área.

Devido às características do solo de alta fertilidade, a produção de biomassa e, por consequência, a produção primária bruta (PPB) do ecossistema não tiveram grande resposta à adubação nitrogenada, fato que ajudou a aproximar a retirada líquida de equivalente de carbono atmosférico entre os sistemas. No entanto, em solos de menor fertilidade e com menores doses de nitrogênio, nos quais a resposta à dose de nitrogênio é maior, a produção primária bruta pode ser ainda maior no sistema intensivo.

Outro resultado interessante é que a magnitude da produção primária bruta e a taxa de respiração do ecossistema (TRE) foram sempre maiores no sistema intensivo, indicando maior *turnover* de carbono, principalmente no verão. Esse fato pode ocorrer porque, no sistema intensivo, há maior utilização de nitrogênio para crescimento vegetativo. Além disso, a maior proporção de folhas verdes e menor de material senescente no sistema intensivo aumenta a produção do ecossistema e ajuda a manter a troca líquida do ecossistema (TLE [TLE=PPB-TER]) maior no sistema intensivo. Segundo os autores, esses fatores provavelmente aumentam o estoque de carbono do sistema intensivo em longo prazo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A produção agropecuária mundial vem lidando com o desafio de aumentar a produção de alimentos e matérias-primas sem impactar negativamente no ambiente. O modelo de desenvolvimento agropecuário brasileiro adotado nas últimas décadas resultou nos atuais sistemas produtivos, muitas vezes tachados como ineficientes e poluidores. Tecnologias como o PD, a ILP, a rotação de culturas e o manejo racional de fertilizantes são ferramentas capazes de aumentar os estoques de carbono e mitigar as emissões de GEE.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdalla, K.; Chivenge, P.; Ciais, P.; Chaplot, V. 2016. No-tillage lessens soil CO₂ emissions the most under arid and sandy soil conditions: results from a meta-analysis. *Biogeosciences*, v. 13, p. 3619-3633, doi: 10.5194/bg-13-3619-2016.
- Abdalla, M.; Hastings, A.; Helmy, M.; Prescher, A.; Osborne, B.; Lanigan, G.; Forristal, D.; Killi, D.; Maratha, P.; Williams, M.; Rueangritsarakul, K.; Smith, P.; Nolan, P.; Jones, M. B. 2014. Assessing the combined use of reduced tillage and cover crops for mitigating greenhouse gas emissions from arable ecosystem. *Geoderma*, v. 223, p. 9-20, doi: 10.1016/j.geoderma.2014.01.030.
- Allard, V.; Soussana, J. F.; Falcimagne, R.; Berbigier, P.; Bonnefond, J. M.; Ceschia, E.; D'hour, P.; Hénault, C.; Laville, P.; Martin, C.; Pinares-Patino, C. 2007. The role of grazing management for the net biome productivity and greenhouse gas budget (CO₂, N₂O and CH₄) of semi-natural grassland. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 121, n. 1-2, p. 47-58, doi: 10.1016/j.agee.2006.12.004.
- Assad, E. D.; Pinto, H. S.; Martins, S. C.; Groppo, J. D.; Salgado, P. R.; Evangelista, B.; Vasconcellos, E.; Sano, E. E.; Pavão, E.; Luna, R.; Camargo, P. B.; Martinelli, L. A. 2013. Changes in soil carbon stocks in Brazil due to land use: paired site comparisons and a regional pasture soil survey. *Biogeosciences*, v. 10, p. 6141-6160, doi:10.5194/bg-10-6141-2013.
- Assmann, J. M.; Anghinoni, I.; Martins, A. P.; de Andrade, S. E. V. G.; Cecagno, D.; Carlos, F. S.; Carvalho, P. C. F. 2013. Soil carbon and nitrogen stocks and fractions in a long-term integrated crop-livestock system under no-tillage in southern Brazil. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 190, p. 52-59, doi: 10.1016/j.agee.2013.12.003.
- Baggs, E.; Phillipot, L. 2010. Microbial terrestrial pathways to nitrous oxide. In: Nitrous Oxide and Climate Change (ed. K.A. Smith), pp. 4-35. Earthscan, London.
- Banger, K.; Wagner-Riddle, C.; Grant, B. B.; Smith, W. N.; Drury, C.; Yang, J. 2020. Modifying fertilizer rate and application method reduces environmental nitrogen losses and increases corn yield in Ontario. *Science of The Total Environment*, p. 137851, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.137851.
- Battle-Bayer, L.; Batjes, N. H.; Bindraban, P. S. 2010. Changes in organic carbon stocks upon land use conversion in the Brazilian Cerrado: a review. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 137, n. 1-2, p. 47-58, doi: 10.1016/j.agee.2010.02.003.
- Bayer, C.; Gomes, J.; Vieira, F. C. B.; Zanatta, J. A.; Piccolo, M. C.; Dieckow, J. 2012. Methane emission from soil under long-term no-till cropping systems. *Soil and Tillage Research*, v. 124, p. 1-7, doi: 10.1016/j.still.2012.03.006.
- Bayer, C.; Gomes, J.; Zanatta, J. A.; Vieira, F. C. B.; Piccolo, M. C.; Dieckow, J.; Six, J. 2015. Soil nitrous oxide emissions as affected by long-term tillage, cropping systems and nitrogen fertilization in Southern Brazil. *Soil and Tillage Research*, v. 146, p. 213-222, doi: 10.1016/j.still.2014.10.011.
- Bell, M. J.; Cloy, J. M.; Topp, C. F. E.; Ball, B. C.; Bagnall, A.; Rees, R. M.; Chadwick, D. R. 2016. Quantifying N₂O emissions from intensive grassland production: the role of synthetic fertilizer type, application rate, timing and nitrification inhibitors. *The Journal of Agricultural Science*, v. 154, n. 5, p. 812-827, doi: 10.1017/S0021859615000945.
- Blasing, T.J. 2016. Recent Greenhouse Gas Concentrations. Carbon Dioxide Information Analysis Center (CDIAC), Oak Ridge, TN [WWW document]. URL http://cdiac.ornl.gov/pns/current_ghg.html [accessed on 8 August 2016].
- Boddey, R. M.; Jantalia, C. P.; Conceição, P. C.; Zanatta, J. A.; Bayer, C.; Mielniczuk, J.; Dieckow, J.; Santos, H. P.; Denardin, J. E.; Aita, C. Giacomini, S.; Alves, B. J. R.; Urquiaga, S. 2010. Carbon accumulation at depth in Ferralsols under zero-till subtropical agriculture. *Global Change Biology*, v. 16, n. 2, p. 784-795, doi: 10.1111/j.1365-2486.2009.02020.x.
- Boeni, M.; Bayer, C.; Dieckow, J.; Conceição, P. C.; Dick, D. P.; Knicker, H.; Salton, J. C.; Macedo, M. C. M. 2013. Organic matter composition in density fractions of Cerrado Ferralsols as revealed by CPMAS ¹³C NMR: Influence of pastureland, cropland and integrated crop-livestock. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 190, p. 80-86, doi: 10.1016/j.agee.2013.09.024.

- Braz, S. P.; Urquiaga, S.; Alves, B. J.; Jantalia, C. P.; Guimarães, A. P.; Santos, C. A.; Santos, S. C.; Pinehiro, E. F. M.; Boddey, R. M. 2013. Soil carbon stocks under productive and degraded *Brachiaria* pastures in the Brazilian Cerrado. *Soil Science Society of America Journal*, v. 77, n. 3, p. 914-928, doi: 10.2136/sssaj2012.0269.
- Bretas, I. L.; Paciullo, D. S.; Alves, B. J. R.; Martins, M. R.; Cardoso, A. S.; Lima, M. A., Rodrigues, R. A. R.; Silva, F. F.; Chizzotti, F. H. 2020. Nitrous oxide, methane, and ammonia emissions from cattle excreta on *Brachiaria decumbens* growing in monoculture or silvopasture with *Acacia mangium* and *Eucalyptus grandis*. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 295, p. 106896, doi: 10.1016/j.agee.2020.106896.
- Briedis, C.; Baldock, J.; de Moraes Sá, J. C.; dos Santos, J. B.; McGowan, J.; Milori, D. M. 2020. Organic carbon pools and organic matter chemical composition in response to different land uses in southern Brazil. *European Journal of Soil Science*.
- Bruun, T. B.; Elberling, B.; Christensen, B. T. 2010. Lability of soil organic carbon in tropical soils with different clay minerals. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 42, n. 6, p. 888-895, doi: 10.1016/j.soilbio.2010.01.009.
- Bustamante, M. M.; Martinelli, L. A.; Ometto, J. P.; do Carmo, J. B.; Jaramillo, V.; Gavito, M. E.; Araujo, P. I.; Austin, A. T.; Pérez, T.; Marquina, S. 2014. Innovations for a sustainable future: rising to the challenge of nitrogen greenhouse gas management in Latin America. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, v. 9, p. 73-81, doi: 10.1016/j.cosust.2014.09.002.
- Butterbach-Bahl, K.; Baggs, E. M.; Dannenmann, M.; Kiese, R.; Zechmeister-Boltenstern, S. 2013. Nitrous oxide emissions from soils: how well do we understand the processes and their controls?. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, v. 368, n. 1621, p. 20130122, doi: 10.1098/rstb.2013.0122.
- Campanha, M. M.; de Oliveira, A. D.; Marriel, I. E.; Neto, M. M. G.; Malaquias, J. V.; Landau, E. C.; Albuquerque Filho, M. R.; Ribeiro, F. P.; Carvalho, A. M. 2019. Effect of soil tillage and N fertilization on N₂O mitigation in maize in the Brazilian Cerrado. *Science of The Total Environment*, v. 692, p. 1165-1174, doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.07.315.
- Carvalho, A. M. D.; Marchão, R. L.; Souza, K. W.; Bustamante, M. M. D. C. 2014A. Soil fertility status, carbon and nitrogen stocks under cover crops and tillage regimes. *Revista Ciência Agronômica*, v. 45, n. 5, p. 914-921.
- Carvalho, J. L. N.; Avanzi, J. C.; Silva, M. L. N.; Mello, C. R. D.; Cerri, C. E. P. 2010A. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 34, n. 2, p. 277-290.
- Carvalho, J. L. N.; Cerri, C. E. P.; Feigl, B. J.; Píccolo, M. D. C.; Godinho, V. P.; Cerri, C. C. 2009B. Carbon sequestration in agricultural soils in the Cerrado region of the Brazilian Amazon. *Soil and Tillage Research*, v. 103, n. 2, p. 342-349, doi: 10.1016/j.still.2008.10.022.
- Carvalho, J. L. N.; Cerri, C. E. P.; Feigl, B. J.; Píccolo, M. D. C.; Godinho, V. P.; Herpin, U.; Cerri, C. C. 2009A. Conversion of Cerrado into agricultural land in the south-western Amazon: Carbon stocks and soil fertility. *Scientia Agricola*, v. 66, n. 2, p. 233-241.
- Carvalho, J. L. N.; Raucci, G. S.; Cerri, C. E. P.; Bernoux, M.; Feigl, B. J.; Wruck, F. J.; Cerri, C. C. 2010B. Impact of pasture, agriculture and crop-livestock systems on soil C stocks in Brazil. *Soil and Tillage Research*, v. 110, n. 1, p. 175-186, doi: 10.1016/j.still.2010.07.011.
- Carvalho, J. L. N.; Raucci, G. S.; Frazão, L. A.; Cerri, C. E. P.; Bernoux, M.; Cerri, C. C. 2014B. Crop-pasture rotation: a strategy to reduce soil greenhouse gas emissions in the Brazilian Cerrado. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 183, p. 167-175, doi: 10.1016/j.agee.2013.11.014.
- Carvalho, P. C. F.; Anghinoni, I.; Moraes, A.; Souza, E. D.; Sulc, R. M.; Lang, C. R.; Flores, J. P. C.; Lopes, M. L. T.; Silva, J. L. S.; Conte, O.; Wesp, C. L.; Levien, R.; Fontaneli, R. S.; Bayer, C. 2010C. Managing grazing animals to achieve nutrient cycling and soil improvement in no-till integrated systems. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v. 88, n. 2, p. 259-273, doi: 10.1007/s10705-010-9360-x.
- Carvalho, P. C. F.; Barro, R. S.; Barth Neto, A.; Nunes, P. A. D. A.; Moraes, A. D.; Anghinoni, I.; Bredemeier, C.; Bayer, C.; Martins, A. P.; Kunrath, T. R.; Santos, D. T.; Carmona, F. C.; Barros, T.; Souza

- Filho, W.; Almeida, G. M.; Caetano, L. A. M.; Cecagno, D.; Arnuti, F.; Denardin, L. G.; O.; Bonetti, J. A.; Toni, C. A. G.; Borin, J. B. M. 2018. Integrating the pastoral component in agricultural systems. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 47, doi: 10.1590/rbz4720170001.
- Cerri, C. C.; Bernoux, M.; Maia, S. M. F.; Cerri, C. E. P.; Costa Junior, C.; Feigl, B. J.; Frazão, L. A.; Mello, F. F. C.; Galdos, M. V.; Moreira, C. S.; Carvalho, J. L. N. 2010. Greenhouse gas mitigation options in Brazil for land-use change, livestock and agriculture. *Scientia Agricola*, v. 67, n. 1, p. 102-116.
- Cerri, C. E. P.; Cerri, C. C.; Maia, S. M. F.; Cherubin, M. R.; Feigl, B. J.; Lal, R. 2018. Reducing Amazon deforestation through agricultural intensification in the Cerrado for advancing food security and mitigating climate change. *Sustainability*, v. 10, n. 4, p. 989, doi: 10.3390/su10040989.
- Cerri, C. E. P., Easter, M., Paustian, K., Killian, K., Coleman, K., Bernoux, M.; Falloon, P.; Powlson, D. S.; Batjes, N. H.; Milne, E.; Cerri, C. C. 2007. Predicted soil organic carbon stocks and changes in the Brazilian Amazon between 2000 and 2030. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 122, n. 1, p. 58-72, doi: 10.1016/j.agee.2007.01.008.
- Chen, S.; Huang, Y.; Zou, J.; Shi, Y. 2013. Mean residence time of global topsoil organic carbon depends on temperature, precipitation and soil nitrogen. *Global and Planetary Change*, v. 100, p. 99-108, doi: 10.1016/j.gloplacha.2012.10.006.
- Chenu, C.; Angers, D. A.; Barré, P.; Derrien, D.; Arrouays, D.; Balesdent, J. 2019. Increasing organic stocks in agricultural soils: Knowledge gaps and potential innovations. *Soil and Tillage Research*, v. 188, p. 41-52, doi: 10.1016/j.still.2018.04.011.
- Ciais, P., Sabine, C., Bala, G., Bopp, L., Brovkin, V., Canadell, J. *et al.* 2013. Carbon and other biogeochemical cycles. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the 5th IPCC Assessment Report* (eds T.F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung *et al.*), pp. 465–570. Cambridge University Press, Cambridge, U.K.
- Conceição, P. C.; Dieckow, J.; Bayer, C. 2013. Combined role of no-tillage and cropping systems in soil carbon stocks and stabilization. *Soil and Tillage Research*, v. 129, p. 40-47, doi: 10.1016/j.still.2013.01.006.
- Corbeels, M.; Marchão, R. L.; Neto, M. S.; Ferreira, E. G.; Madari, B. E.; Scopel, E.; Brito, O. R. 2016. Evidence of limited carbon sequestration in soils under no-tillage systems in the Cerrado of Brazil. *Scientific reports*, v. 6, p. 21450, doi: 10.1038/srep21450.
- Cosentino, V. R. N.; Aureggi, S. A. F.; Taboada, M. A. 2013. Hierarchy of factors driving N₂O emissions in non-tilled soils under different crops. *European journal of soil science*, v. 64, n. 5, p. 550-557, doi: 10.1111/ejss.12080.
- Dieckow, J.; Bayer, C.; Conceição, P. C.; Zanatta, J. A.; Martin-Neto, L.; Milori, D. B. M.; Salton, J. C.; Macedo, M. M.; Mielniczuk, J.; Hernani, L. C. 2009. Land use, tillage, texture and organic matter stock and composition in tropical and subtropical Brazilian soils. *European Journal of Soil Science*, v. 60, n. 2, p. 240-249, doi: 10.1111/j.1365-2389.2008.01101.x.
- Durigan, M. R.; Cherubin, M. R.; Camargo, P. B.; Ferreira, J. N.; Berenguer, E.; Gardner, T. A.; Barlow, B.; Dias, C. T. S.; Signor, D.; Oliveira Junior, R. C.; Cerri, C. E. P. 2017. Soil organic matter responses to anthropogenic forest disturbance and land use change in the Eastern Brazilian Amazon. *Sustainability*, v. 9, n. 3, p. 379, doi: 10.3390/su9030379.
- Eclesia, R. P.; Jobbagy, E. G.; Jackson, R. B.; Biganzoli, F.; Piñeiro, G. 2012. Shifts in soil organic carbon for plantation and pasture establishment in native forests and grasslands of South America. *Global Change Biology*, v. 18, n. 10, p. 3237-3251, doi: 10.1111/j.1365-2486.2012.02761.x.
- Feng, J.; Li, F.; Zhou, X.; Xu, C.; Ji, L.; Chen, Z.; Fang, F. 2018. Impact of agronomy practices on the effects of reduced tillage systems on CH₄ and N₂O emissions from agricultural fields: a global meta-analysis. *PLoS one*, v. 13, n. 5, doi: 10.1371/journal.pone.0196703.
- Ferreira, A. C. D. B.; Borin, A. L. D. C.; Lamas, F. M.; Bogiani, J. C.; Silva, M. A. S. D.; Silva Filho, J. L. D.; Staut, L. A. 2020. Soil carbon accumulation in cotton production systems in the Brazilian Cerrado. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 42, doi: 10.4025/actasciagron.v42i1.43039.

- Ferreira, A. O.; Amado, T. J. C.; Nicoloso, R. S.; Sá, J. C. M.; Fiorin, J. E.; Hansel, D. S. S.; Menefee, D. 2013. Soil carbon stratification affected by long-term tillage and cropping systems in southern Brazil. *Soil and Tillage Research*, v. 133, p. 65-74, doi: 10.1016/j.still.2013.05.011.
- Ferreira, A. O.; Amado, T. J. C.; Rice, C. W.; Diaz, D. A. R.; Keller, C.; Inagaki, T. M. 2016. Can no-till grain production restore soil organic carbon to levels natural grass in a subtropical Oxisol?. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 229, p. 13-20, doi: 10.1016/j.agee.2016.05.016.
- Figueiredo, C. C.; Oliveira, A. D.; Santos, I. L.; Ferreira, E. A. B.; Malaquias, J. V.; Sá, M. A. C.; Carvalho, A. M.; Santos, J. D. D. G. 2017. Relationships between soil organic matter pools and nitrous oxide emissions of agroecosystems in the Brazilian Cerrado. *Science of the Total Environment*, v. 618, p. 1572-1582, doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.09.333.
- Figueiredo, C. C.; Resck, D. V. S.; Carneiro, M. A. C.; Ramos, M. L. G.; Sá, J. C. M. 2013. Stratification ratio of organic matter pools influenced by management systems in a weathered Oxisol from a tropical agro-ecoregion in Brazil. *Soil Research*, v. 51, n. 2, p. 133-141, doi: 10.1071/SR12186.
- Franco, A. L.; Cherubin, M. R.; Pavinato, P. S.; Cerri, C. E.; Six, J.; Davies, C. A.; Cerri, C. C. 2015. Soil carbon, nitrogen and phosphorus changes under sugarcane expansion in Brazil. *Science of the Total Environment*, v. 515, p. 30-38, doi: 10.1016/j.scitotenv.2015.02.025.
- Franzluebbers, A. J.; Lemaire, G.; Carvalho, P. C. F.; Sulc, M.; Dedieu, M. 2014. Toward agricultural sustainability through integrated crop-livestock systems: Environmental outcomes. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 190, p. 1-3, doi: 10.1016/j.agee.2014.04.028.
- Fujisaki, K.; Perrin, A. S.; Desjardins, T.; Bernoux, M.; Balbino, L. C.; Brossard, M. 2015. From forest to cropland and pasture systems: a critical review of soil organic carbon stocks changes in Amazonia. *Global change biology*, v. 21, n. 7, p. 2773-2786, doi: 10.1111/gcb.12906.
- Galford, G. L.; Soares-Filho, B.; Cerri, C. E. 2013. Prospects for land-use sustainability on the agricultural frontier of the Brazilian Amazon. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, v. 368, n. 1619, p. 20120171, doi: 10.1098/rstb.2012.0171.
- Gao, L.; Becker, E.; Liang, G.; Houssou, A. A.; Wu, H.; Wu, X.; Cai, D.; Degré, A. 2017. Effect of different tillage systems on aggregate structure and inner distribution of organic carbon. *Geoderma*, v. 288, p. 97-104, doi: 10.1016/j.geoderma.2016.11.005.
- Gil, J.; Siebold, M.; Berger, T. 2015. Adoption and development of integrated crop-livestock-forestry systems in Mato Grosso, Brazil. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 199, p. 394-406, doi: 10.1016/j.agee.2014.10.008.
- He, N. P.; Zhang, Y. H.; Yu, Q.; Cheng, Q. S.; Pan, Q. M.; Zhang, G. M.; Han, X. G. 2011. Grazing intensity impacts soil carbon and nitrogen storage of continental steppe. *Ecosphere*, v. 2, doi: 10.1890/ES10-00017.1.
- Huang, M.; Liang, T.; Wang, L. 2015. Nitrous oxide emissions in a winter wheat–summer maize double cropping system under different tillage and fertilizer management. *Soil use and management*, v. 31, n. 1, p. 98-105, doi: 10.1111/sum.12170.
- IPCC-INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Climate change 2007. Fourth Assessment Report on climate change impacts, adaptation and vulnerability of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, Cambridge University., 939p.
- Kaiser, K.; Guggenberger, G. 2007. Sorptive stabilization of organic matter by microporous goethite: sorption into small pores vs. surface complexation. *European Journal of Soil Science*, v. 58, n. 1, p. 45-59, doi: 10.1111/j.1365-2389.2006.00799.x.
- Kessel, C.; Venterea, R.; Six, J.; Adviento-Borbe, M. A.; Linnquist, B.; Van Groenigen, K. J. 2012. Climate, duration, and N placement determine N₂O emissions in reduced tillage systems: a meta-analysis. *Global Change Biology*, v. 19, n. 1, p. 33-44, doi: 10.1111/j.1365-2486.2012.02779.x.
- Kibet, L. C.; Blanco-Canqui, H.; Jasa, P. 2016. Long-term tillage impacts on soil organic matter components and related properties on a Typic Argiudoll. *Soil and Tillage Research*, v. 155, p. 78-84, doi: 10.1016/j.still.2015.05.006.

- Kleber, M.; Nico, P. S.; Plante, A.; Filley, T.; Kramer, M.; Swanston, C.; Sollins, P. 2011. Old and stable soil organic matter is not necessarily chemically recalcitrant: implications for modeling concepts and temperature sensitivity. *Global Change Biology*, v. 17, n. 2, p. 1097-1107, doi: 10.1111/j.1365-2486.2010.02278.x.
- Kogel-Knabner, I.; Kleber, M. 2012. Mineralogical, Physicochemical, And Microbiological Controls On Soil Organic Matter Stabilization And Turnover. In: Huang, P.M., Li, Y., Sumner, M.E. (Eds.), *Hanbook Of Soil Sciences: Resource Management And Environmental Impacts*. Crc Press, Boca Raton, Pp. 7.1–7.22.
- Kuang, W.; Gao, X.; Tenuta, M.; Gui, D.; Zeng, F. 2019. Relationship between soil profile accumulation and surface emission of N₂O: effects of soil moisture and fertilizer nitrogen. *Biology and fertility of soils*, v. 55, n. 2, p. 97-107, doi: 10.1007/s00374-018-01337-4.
- Lal, R. 2010. Enhancing eco-efficiency in agro-ecosystems through soil carbon sequestration. *Crop science*, v. 50, n. 1, p.120-131, doi: 10.2135/cropsci2010.01.0012.
- Leite, C. C.; Costa, M. H.; Soares Filho, B. S.; Hissa, L. B. V. 2012. Historical land use change and associated carbon emissions in Brazil from 1940 to 1995. *Global Biogeochemical Cycles*, v. 26, n. 2, doi: 10.1029/2011GB004133.
- Lemaire, G.; Gastal, F.; Franzluebbers, A.; Chabbi, A. 2015. Grassland–cropping rotations: an avenue for agricultural diversification to reconcile high production with environmental quality. *Environmental management*, v. 56, n. 5, p. 1065-1077, doi: 10.1007/s00267-015-0561-6.
- Lemaire, G. 2012. Intensification of animal production from grassland and ecosystem services: a trade-off. *Animal Science Reviews*, n. 12, p. 45, doi: 10.1079/PAVSNNR20127012.
- Liu, Z.; Sun, K.; Liu, W.; Gao, T.; Li, G.; Han, H.; Li, Ning, T.; Ning, T. 2020. Responses of soil carbon, nitrogen, and wheat and maize productivity to 10 years of decreased nitrogen fertilizer under contrasting tillage systems. *Soil and Tillage Research*, v. 196, p. 104444, doi: 10.1016/j.still.2019.104444.
- Luo, Z.; Wang, E.; Sun, O. J. 2010. Can no-tillage stimulate carbon sequestration in agricultural soils? A meta-analysis of paired experiments. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 139, n. 1-2, p. 224-231, doi: 10.1016/j.agee.2010.08.006.
- Maia, S. M. F.; Carvalho, J. L. N.; Cerri, C. E. P.; Lal, R.; Bernoux, M.; Galdos, M. V.; Cerri, C. C. 2013. Contrasting approaches for estimating soil carbon changes in Amazon and Cerrado biomes. *Soil and Tillage Research*, v. 133, p. 75-84, doi: 10.1016/j.still.2013.06.002.
- Maia, S. M.; Ogle, S. M.; Cerri, C. C.; Cerri, C. E. 2010A. Changes in soil organic carbon storage under different agricultural management systems in the Southwest Amazon Region of Brazil. *Soil and Tillage Research*, v. 106, n. 2, p. 177-184, doi: 10.1016/j.still.2009.12.005.
- Maia, S. M.; Ogle, S. M.; Cerri, C. E.; Cerri, C. C. 2009. Effect of grassland management on soil carbon sequestration in Rondônia and Mato Grosso states, Brazil. *Geoderma*, v. 149, n. 1-2, p. 84-91, doi: 10.1016/j.geoderma.2008.11.023.
- Maia, S. M.; Ogle, S. M.; Cerri, C. E.; Cerri, C. C. 2010B. Soil organic carbon stock change due to land use activity along the agricultural frontier of the southwestern Amazon, Brazil, between 1970 and 2002. *Global Change Biology*, v. 16, n. 10, p. 2775-2788, doi: 10.1111/j.1365-2486.2009.02105.x.
- Mangalassery, S.; Sjögersten, S.; Sparkes, D. L.; Sturrock, C. J.; Mooney, S. J. 2013. The effect of soil aggregate size on pore structure and its consequence on emission of greenhouse gases. *Soil and Tillage Research*, v. 132, p. 39-46, doi: 10.1016/j.still.2013.05.003.
- Marchão, R. L.; Becquer, T.; Brunet, D.; Balbino, L. C.; Vilela, L.; Brossard, M. 2009. Carbon and nitrogen stocks in a Brazilian clayey Oxisol: 13-year effects of integrated crop–livestock management systems. *Soil and Tillage Research*, v. 103, n. 2, p. 442-450, doi: 10.1016/j.still.2008.11.002.
- Martins, M. R.; Jantalia, C. P.; Polidoro, J. C.; Batista, J. N.; Alves, B. J.; Boddey, R. M.; Urquiaga, S. 2015. Nitrous oxide and ammonia emissions from N fertilization of maize crop under no-till in a Cerrado soil. *Soil and Tillage Research*, v. 151, p. 75-81, doi: 10.1016/j.still.2015.03.004.

- Mathew, I.; Shimelis, H.; Mutema, M.; Chaplot, V. 2017. What crop type for atmospheric carbon sequestration: Results from a global data analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 243, p. 34-46, doi: 10.1016/j.agee.2017.04.008.
- Meurer, K. H.; Franko, U.; Stange, C. F.; Dalla Rosa, J.; Madari, B. E.; Jungkunst, H. F. 2016. Direct nitrous oxide (N₂O) fluxes from soils under different land use in Brazil—a critical review. *Environmental Research Letters*, v. 11, n. 2, p. 023001, doi: 10.1088/1748-9326/11/2/023001.
- Miranda, E.; Carmo, J.; Couto, E.; Camargo, P. 2016. Long-term changes in soil carbon stocks in the Brazilian Cerrado under commercial soybean. *Land Degradation & Development*, v. 27, n. 6, p. 1586-1594, doi: 10.1002/ldr.2473.
- Nogueirol, R. C.; Cerri, C. E. P.; Silva, W. T. L.; Alleoni, L. R. F. 2014. Effect of no-tillage and amendments on carbon lability in tropical soils. *Soil and Tillage Research*, v. 143, p. 67-76, doi: 10.1016/j.still.2014.05.014.
- Oliveira, D. M. S.; Paustian, K.; Davies, C. A.; Cherubin, M. R.; Franco, A. L. C.; Cerri, C. C.; Cerri, C. E. P. 2016. Soil carbon changes in areas undergoing expansion of sugarcane into pastures in south-central Brazil. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 228, p. 38-48, doi: 10.1016/j.agee.2016.05.005.
- Oliveira, F. C. C.; Ferreira, G. W. D.; Souza, J. L. S.; Vieira, M. E. O.; Pedrotti, A. 2020. Soil physical properties and soil organic carbon content in northeast Brazil: long-term tillage systems effects. *Scientia Agricola*, v. 77, n. 4, doi: 10.1590/1678-992X-2018-0166.
- Pelster, D. E.; Larouche, F.; Rochette, P.; Chantigny, M. H.; Allaire, S.; Angers, D. A. 2011. Nitrogen fertilization but not soil tillage affects nitrous oxide emissions from a clay loam soil under a maize–soybean rotation. *Soil and Tillage Research*, v. 115, p. 16-26, doi: 10.1016/j.still.2011.06.001.
- Peyrard, C.; Mary, B.; Perrin, P.; Véricel, G.; Gréhan, E.; Justes, E.; Léonard, J. 2016. N₂O emissions of low input cropping systems as affected by legume and cover crops use. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 224, p. 145-156, doi: 10.1016/j.agee.2016.03.028.
- Piazza, G.; Pellegrino, E.; Moscatelli, M. C.; Ercoli, L. 2020. Long-term conservation tillage and nitrogen fertilization effects on soil aggregate distribution, nutrient stocks and enzymatic activities in bulk soil and occluded microaggregates. *Soil and Tillage Research*, v. 196, p. 104482, doi: 10.1016/j.still.2019.104482.
- Pinheiro, É. F. M.; Campos, D. V. B.; Balieiro, F. C.; Anjos, L. H. C.; Pereira, M. G. 2015. Tillage systems effects on soil carbon stock and physical fractions of soil organic matter. *Agricultural Systems*, v. 132, p. 35-39, doi: 10.1016/j.agsy.2014.08.008.
- Pires, M. V.; Cunha, D. A.; Carlos, S. M.; Costa, M. H. 2015. Nitrogen-use efficiency, nitrous oxide emissions, and cereal production in Brazil: current trends and forecasts. *PLoS one*, v. 10, n. 8, doi: 10.1371/journal.pone.0135234.
- Piva, J. T.; Dieckow, J.; Bayer, C.; Zanatta, J. A.; Moraes, A.; Pauletti, V.; Tomazi, M.; Pergher, M. 2012. No-till reduces global warming potential in a subtropical Ferralsol. *Plant and Soil*, v. 361, n. 1-2, p. 359-373, doi: 10.1007/s11104-012-1244-1.
- Piva, J. T.; Dieckow, J.; Bayer, C.; Zanatta, J. A.; Moraes, A.; Tomazi, M.; Pauletti, V.; Barth, G.; Piccolo, M. C. 2013. Soil gaseous N₂O and CH₄ emissions and carbon pool due to integrated crop-livestock in a subtropical Ferralsol. *Agriculture, ecosystems & environment*, v. 190, p. 87-93, doi: 10.1016/j.agee.2013.09.008.
- Plaza-Bonilla, D.; Álvaro-Fuentes, J.; Bareche, J.; Pareja-Sánchez, E.; Justes, É.; Cantero-Martínez, C. 2018. No-tillage reduces long-term yield-scaled soil nitrous oxide emissions in rainfed Mediterranean agroecosystems: A field and modelling approach. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 262, p. 36-47, doi: 10.1016/j.agee.2018.04.007.
- Plaza-Bonilla, D.; Álvaro-Fuentes, J.; Cantero-Martínez, C. 2014. Identifying soil organic carbon fractions sensitive to agricultural management practices. *Soil and Tillage Research*, v. 139, p. 19-22, doi: 10.1016/j.still.2014.01.006.
- Rashti, M. R.; Wang, W.; Moody, P.; Chen, C.; Ghadiri, H. 2015. Fertiliser-induced nitrous oxide emissions from vegetable production in the world and the regulating factors: A review. *Atmospheric Environment*, v. 112, p. 225-233, doi: 10.1016/j.atmosenv.2015.04.036.

- Restovich, S. B.; Andriulo, A. E.; Armas-Herrera, C. M.; Beribe, M. J.; Portela, S. I. 2019. Combining cover crops and low nitrogen fertilization improves soil supporting functions. *Plant and Soil*, v. 442, n. 1-2, p. 401-417, doi: 10.1007/s11104-019-04205-8.
- Ribeiro, R. H.; Ibarra, M. A.; Besen, M. R.; Bayer, C.; Piva, J. T. 2019. Managing grazing intensity to reduce the global warming potential in integrated crop–livestock systems under no-till agriculture. *European Journal of Soil Science*.
- Rochester, I. J. 2011. Sequestering carbon in minimum-tilled clay soils used for irrigated cotton and grain production. *Soil and Tillage Research*, v. 112, n. 1, p. 1-7, doi: 10.1016/j.still.2010.10.012.
- Sá, J. C. M.; Séguy, L.; Tivet, F.; Lal, R.; Bouzinac, S.; Borszowski, P. R.; Briedis, C.; Santos, J. B.; Hartman, D. C.; Bertoloni, C. G.; Rosa, J.; Friedrich, T. 2015. Carbon depletion by plowing and its restoration by no-till cropping systems in oxisols of subtropical and tropical agro-ecoregions in Brazil. *Land Degradation & Development*, v. 26, n. 6, p. 531-543, doi: 10.1002/ldr.2218.
- Sá, J. C. M.; Tivet, F.; Lal, R.; Briedis, C.; Hartman, D. C.; dos Santos, J. Z.; dos Santos, J. B. 2014. Long-term tillage systems impacts on soil C dynamics, soil resilience and agronomic productivity of a Brazilian Oxisol. *Soil and Tillage Research*, v. 136, p. 38-50, doi: 10.1016/j.still.2013.09.010.
- Sainju, U. M. 2016. A global meta-analysis on the impact of management practices on net global warming potential and greenhouse gas intensity from cropland soils. *PloS one*, v. 11, n. 2, doi: 10.1371/journal.pone.0148527.
- Salton, J. C.; Mercante, F. M.; Tomazi, M.; Zanatta, J. A.; Concenço, G.; Silva, W. M.; Retore, M. 2014. Integrated crop-livestock system in tropical Brazil: Toward a sustainable production system. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 190, p. 70-79, doi: 10.1016/j.agee.2013.09.023.
- Salton, J. C.; Mielniczuk, J.; Bayer, C.; Fabrício, A. C.; Macedo, M. C. M.; Broch, D. L. 2011. Teor e dinâmica do carbono no solo em sistemas de integração lavoura-pecuária. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 46, n. 10, p. 1349-1356.
- Sant-Anna, S. A.; Jantalia, C. P.; Sá, J. M.; Vilela, L.; Marchão, R. L.; Alves, B. J.; Urquiaga, S.; Boddey, R. M. 2016. Changes in soil organic carbon during 22 years of pastures, cropping or integrated crop/livestock systems in the Brazilian Cerrado. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v. 108, n. 1, p. 101-120, doi: 10.1007/s10705-016-9812-z.
- Santos, C. A.; Rezende, C. D. P.; Pinheiro, É. F. M.; Pereira, J. M.; Alves, B. J.; Urquiaga, S.; Boddey, R. M. 2019. Changes in soil carbon stocks after land-use change from native vegetation to pastures in the Atlantic forest region of Brazil. *Geoderma*, v. 337, p. 394-401, doi: 10.1016/j.geoderma.2018.09.045.
- Santos, I. L., de Oliveira, A. D., de Figueiredo, C. C., Malaquias, J. V., dos Santos, J. D. D. G., Ferreira, E. A. B.; Sá, M. A. C.; Carvalho, A. M. 2016. Soil N₂O emissions from long-term agroecosystems: Interactive effects of rainfall seasonality and crop rotation in the Brazilian Cerrado. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 233, p. 111-120, doi: 10.1016/j.agee.2016.08.027.
- Santos, N. Z.; Dieckow, J.; Bayer, C.; Molin, R.; Favaretto, N.; Pauletti, V.; Piva, J. T. 2011. Forages, cover crops and related shoot and root additions in no-till rotations to C sequestration in a subtropical Ferralsol. *Soil and Tillage Research*, v. 111, n. 2, p. 208-218, doi: 10.1016/j.still.2010.10.006.
- Sanz-Cobena, A.; Abalos, D.; Meijide, A.; Sanchez-Martin, L.; Vallejo, A. 2014. Soil moisture determines the effectiveness of two urease inhibitors to decrease N₂O emission. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, v. 21, n. 7, p. 1131-1144, doi: 10.1007/s11027-014-9548-5.
- Sato, J. H.; Carvalho, A. M.; Figueiredo, C. C.; Coser, T. R.; Sousa, T. R.; Vilela, L.; Marchao, R. L. 2017. Nitrous oxide fluxes in a Brazilian clayey oxisol after 24 years of integrated crop-livestock management. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v. 108, n. 1, p. 55-68, doi: 10.1007/s10705-017-9822-5.
- Sato, J. H., de Figueiredo, C. C., Marchão, R. L., de Oliveira, A. D., Vilela, L., Delvico, F. M.; Alves, B. J. R.; Carvalho, A. M. 2019. Understanding the relations between soil organic matter fractions and N₂O emissions in a long-term integrated crop–livestock system. *European Journal of Soil Science*, v. 70, n. 6, p. 1183-1196, doi: 10.1111/ejss.12819.
- Segnini, A., Xavier, A. A. P., Otaviani-Junior, P. L., Oliveira, P. P. A., Pedroso, A. D. F., Praes, M. F. F. M.; Rodrigues, P. H. M.; Milori, D. M. B. P. 2019. Soil carbon stock and humification in pastures under

different levels of intensification in Brazil. *Scientia Agricola*, v. 76, n. 1, p. 33-40, doi: 10.1590/1678-992X-2017-0131.

Silva, F. D.; Amado, T. J. C.; Ferreira, A. O.; Assmann, J. M.; Anghinoni, I.; Carvalho, P. C. F. 2013. Soil carbon indices as affected by 10 years of integrated crop–livestock production with different pasture grazing intensities in Southern Brazil. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 190, p. 60-69, doi: 10.1016/j.agee.2013.12.005.

Silva, R. O.; Barioni, L. G.; Hall, J. J.; Moretti, A. C.; Veloso, R. F.; Alexander, P.; Crespolini, M.; Moran, D. 2017. Sustainable intensification of Brazilian livestock production through optimized pasture restoration. *Agricultural systems*, v. 153, p. 201-211, doi: 10.1016/j.agry.2017.02.001.

Siqueira Neto, M.; Scopel, E.; Corbeels, M.; Cardoso, A. N.; Douzet, J. M.; Feller, C.; Piccolo, M. C.; Cerri, C. C.; Bernoux, M. 2010. Soil carbon stocks under no-tillage mulch-based cropping systems in the Brazilian Cerrado: an on-farm synchronic assessment. *Soil and Tillage Research*, v. 110, n. 1, p. 187-195, doi: 10.1016/j.still.2010.07.010.

Smith, K. A. 2017. Changing views of nitrous oxide emissions from agricultural soil: key controlling processes and assessment at different spatial scales. *European Journal of Soil Science*, v. 68, n. 2, p. 137-155, doi: 10.1111/ejss.12409.

Smith, P. 2014. Do grasslands act as a perpetual sink for carbon?. *Global change biology*, v. 20, n. 9, p. 2708-2711, doi: 10.1111/gcb.12561.

Smith, P.; House, J. I.; Bustamante, M.; Sobocká, J.; Harper, R.; Pan, G.; West, P. C.; Clark, J. M.; Adhya, T.; Rumpel, C.; Paustian, K.; Kuikman, P.; Cotrufo, M. F.; Elliott, J. A.; MCDowell, R.; Griffiths, R. I.; Asakawa, S.; Bondeau, A.; Jain, A. K.; Meersmans, J.; Pugh, T. A. M. 2016. Global change pressures on soils from land use and management. *Global change biology*, v. 22, n. 3, p. 1008-1028, doi: 10.1111/gcb.13068.

Soares, D. S.; Ramos, M. L. G.; Marchão, R. L.; Maciel, G. A.; de Oliveira, A. D.; Malaquias, J. V.; de Carvalho, A. M. 2019. How diversity of crop residues in long-term no-tillage systems affect chemical and microbiological soil properties. *Soil and Tillage Research*, v. 194, p. 104316, doi: 10.1016/j.still.2019.104316.

Sordi, A.; Dieckow, J.; Bayer, C.; Alburquerque, M. A.; Piva, J. T.; Zanatta, J. A.; Tomazi, M.; Rosa, C. M.; Moraes, A. 2013. Nitrous oxide emission factors for urine and dung patches in a subtropical Brazilian pastureland. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 190, p. 94-103, doi: 10.1016/j.agee.2013.09.004.

Soussana, J. F.; Lemaire, G. 2014. Coupling carbon and nitrogen cycles for environmentally sustainable intensification of grasslands and crop-livestock systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 190, p. 9-17, doi: 10.1016/j.agee.2013.10.012.

Soussana, J. F.; Tallec, T.; Blanfort, V. 2010. Mitigating the greenhouse gas balance of ruminant production systems through carbon sequestration in grasslands. *Animal*, v. 4, n. 3, p. 334-350, doi: 10.1017/S1751731109990784.

Souza, G. P. D.; Figueiredo, C. C. D.; Sousa, D. M. G. D. 2016. Relationships between labile soil organic carbon fractions under different soil management systems. *Scientia Agricola*, v. 73, n. 6, p. 535-542, doi: 10.1590/0103-9016-2015-0047.

Subbarao, G. V., Yoshihashi, T., Worthington, M., Nakahara, K., Ando, Y., Sahrawat, K. L.; Rao, I. M.; Lata, J.; Kishii, M.; Braun, H. J. 2015. Suppression of soil nitrification by plants. *Plant Science*, v. 233, p. 155-164, doi: 10.1016/j.plantsci.2015.01.012.

Tivet, F.; Sa, J. C. M.; Lal, R.; Briedis, C.; Borszowskei, P. R.; dos Santos, J. B.; Farias, A.; Eurich, G.; Hartman, D. C.; Nodalny Junior, M.; Bouzinac, S.; Séguy, L.; Bouzinac, S. 2013. Aggregate C depletion by plowing and its restoration by diverse biomass-C inputs under no-till in sub-tropical and tropical regions of Brazil. *Soil and tillage research*, v. 126, p. 203-218, doi: 10.1016/j.still.2012.09.004.

Ussiri, D. A.; Lal, R.; Jarecki, M. K. 2009. Nitrous oxide and methane emissions from long-term tillage under a continuous corn cropping system in Ohio. *Soil and Tillage Research*, v. 104, n. 2, p. 247-255, doi: 10.1016/j.still.2009.03.001.

Valkama, E.; Kunyupiyeva, G.; Zhapayev, R.; Karabayev, M.; Zhusupbekov, E.; Perego, A.; Schillaci, C.; Sacco, D.; Moretti, B.; Grignani, C.; Acutis, M. 2020. Can conservation agriculture increase soil carbon sequestration? A modelling approach. *Geoderma*, v. 369, p. 114298, doi: 10.1016/j.geoderma.2020.114298.

Vieira, F. C. B.; Bayer, C.; Zanatta, J. A.; Mielniczuk, J.; Six, J. 2009. Building up organic matter in a subtropical Paleudult under legume cover-crop-based rotations. *Soil Science Society of America Journal*, v. 73, n. 5, p. 1699-1706, doi: 10.2136/sssaj2008.0241.

Zanatta, J. A.; Vieira, F. C. B.; Briedis, C.; Dieckow, J.; Bayer, C. 2019. Carbon indices to assess quality of management systems in a Subtropical Acrisol. *Scientia Agricola*, v. 76, n. 6, p. 501-508, doi: 10.1590/1678-992X-2017-0322.

Zhang, S.; Li, Q.; Zhang, X.; Wei, K.; Chen, L.; Liang, W., 2012. Effects Of Conservation Tillage On Soil Aggregation And Aggregate Binding Agents In Black Soil Of Northeast China. *Soil And Tillage Research*, v. 124, p. 196-202, doi: 10.1016/j.still.2012.06.007

Zotarelli, L.; Zatorre, N. P.; Boddey, R. M.; Urquiaga, S.; Jantalia, C. P.; Franchini, J. C.; Alves, B. J. 2012. Influence of no-tillage and frequency of a green manure legume in crop rotations for balancing N outputs and preserving soil organic C stocks. *Field Crops Research*, v. 132, p. 185-195, doi: 10.1016/j.fcr.2011.12.013.

CAPÍTULO 14

ESTOQUES DE CARBONO EM AGROFLORESTAS E AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA EM SISTEMAS AGROPECUÁRIOS

Alan Figueiredo de Oliveira; Ângela Maria Quintão Lana; Lúcio Carlos Gonçalves; Matheus Anchieta Ramirez; Pamella Grossi de Sousa; Frederico Patrus Ananias de Assis Pires; Rafael Araújo de Menezes; Guilherme Lobato Menezes

RESUMO

A evolução da agropecuária mundial visou a sistemas altamente especializados, com processos padronizados e grande utilização de insumos industriais. Entretanto, os impactos negativos causados por esse modelo de desenvolvimento fizeram com que a comunidade científica buscasse modelos mais diversificados, eficientes e com menores impactos ambientais. Nesse contexto, as agroflorestas são os sistemas mais diversificados e complexos, que integram animais, árvores, gramíneas e/ou leguminosas. Do ponto de vista ambiental, as agroflorestas apresentam a grande vantagem de aumentar os estoques de carbono no solo e na biomassa aérea e utilizar, de forma mais eficiente, os recursos naturais. As análises de ciclo de vida e de cenários agropecuários procuram analisar as emissões de GEE e os efeitos de ações antrópicas nos sistemas produtivos. Essas análises são cruciais para entender como melhorias de manejo ou mudanças de estratégias produtivas podem impactar os indicadores ambientais dentro dos sistemas produtivos e, mais amplamente, a agropecuária nacional e a mundial.

INTRODUÇÃO

As agroflorestas podem ser caracterizadas como sistemas agropecuários formados por diferentes arranjos de espécies de árvores, de gramíneas, de leguminosas e de animais. Existem diferentes sistemas considerados agroflorestas, como silvipastoril, agrossilvopastoril, silviagrícola, cercas vivas, pousio melhorado, entre outros (Feliciano *et al.*, 2018). As agroflorestas são sistemas mais complexos que os monocultivos e, por isso, demandam grande expertise técnica e gerencial para o adequado funcionamento. As agroflorestas geralmente também são mais eficientes na utilização dos recursos naturais e apresentam melhores indicadores ambientais.

O sequestro de carbono nas agroflorestas ocorre no solo, pela maior deposição de liteira e pelo grande e profundo sistema radicular, e na biomassa aérea, pelo crescimento das árvores e forrageiras. As raízes das árvores são capazes de reciclar nutrientes de camadas mais profundas e aumentar a produção do sistema. O maior volume de liteira disponível para decomposição e o menor revolvimento do solo permitem maior formação de macro e de microagregados, maior formação de frações estáveis no solo e aumento dos estoques de carbono no solo. Além disso, o grande e profundo sistema radicular das árvores pode aumentar, de forma prolongada, o sequestro de carbono em camadas mais profundas do solo (Vicente *et al.*, 2016; Cardinael *et al.*, 2018; Nascimento *et al.*, 2019). Por outro lado, o grande volume da biomassa aérea, rica em carbono, permite aumentar ainda mais o sequestro de carbono no sistema, em comparação a sistemas mais simples como as monoculturas (Nair *et al.*, 2009A; Dube *et al.*, 2012; Lorenz e Lal, 2014).

As avaliações de ciclo de vida e as avaliações de cenários são metodologias utilizadas em diversas partes do mundo, com o objetivo de avaliar os indicadores ambientais de sistemas produtivos e de produtos comercializáveis. As avaliações de ciclo de vida (LCA – Life Cycle Assessment) geralmente são utilizadas para analisar todas as emissões de gases do efeito estufa (GEE) de um determinado produto. Essas avaliações consideram as emissões de toda a cadeia de produção de insumos, de transporte e de produção, gerando indicadores como a pegada de carbono (volume de CO₂ equivalente emitido por kg de produto produzido) e a pegada hídrica (volume de H₂O utilizado por kg de produto produzido). As avaliações de ciclo de vida também são utilizadas para determinar como algumas mudanças de manejo ou adoção de tecnologias influenciam nas emissões do sistema (Beauchemin *et al.*, 2010).

As avaliações de cenários permitem análises mais avançadas e amplas da agropecuária em diferentes níveis organizacionais. No local, os cenários permitem a análise dos impactos gerados por tecnologias ou por diferentes sistemas produtivos dentro das propriedades. De forma regional e nacional, as avaliações de cenários consideram o impacto de questões mais amplas, como crescimento populacional, crescimento do padrão de consumo, aumento de renda da população e impacto de políticas públicas nos indicadores ambientais dos países ou dos continentes.

No Brasil, a implantação de sistemas agroflorestais e o aumento dos índices produtivos por meio da melhoria do manejo e da intensificação dos sistemas são processos fundamentais para a melhoria dos indicadores ambientais. As avaliações de ciclo de vida e de cenários são metodologias importantes para a determinação do impacto ambiental

das mudanças implementadas nos sistemas produtivos. Objetivou-se com este capítulo analisar os estoques de carbono em sistemas agroflorestais e o impacto de mudanças nos sistemas de produção, por meio da avaliação de ciclo de vida e de cenários.

ESTOQUES DE CARBONO EM AGROFLORESTAS

Os solos agrícolas em todo o mundo já passaram por alterações em suas utilizações. A mudança da ocupação do solo de vegetação nativa do Cerrado brasileiro para áreas de lavouras com tratos culturais tradicionais é um exemplo disso. Essas mudanças na ocupação também modificam as relações entre solo, plantas, animais, ambiente e produtividade agrícola. Tais interações, por sua vez, influenciam diretamente os estoques de carbono do sistema, tanto no solo quanto na biomassa aérea. Em metanálise global com 385 estudos, Don *et al.* (2011) avaliaram como as mudanças no uso do solo afetam os estoques de carbono. As maiores perdas de carbono orgânico no solo foram causadas pela conversão de florestas em áreas de lavoura ou de pasto. Por outro lado, os maiores ganhos de carbono foram observados na conversão de área de lavoura em pasto, ou na conversão de áreas em florestas secundárias ou primárias.

Esses resultados mostram como o desmatamento ocorrido em várias partes do mundo, nas últimas décadas, afetou o balanço de carbono nos ecossistemas terrestres. Além disso, é possível verificar que a arborização dos sistemas produtivos é uma oportunidade de sequestrar grande quantidade de carbono e mitigar as emissões dos GEE. Em sistemas arborizados, o maior estoque de carbono no solo pode ocorrer em razão da proteção do solo contra erosão, da maior ciclagem de carbono pela queda de galhos e folhas, do maior conteúdo de raízes principalmente nas camadas mais profundas e da estabilização da matéria orgânica (Silveira *et al.*, 2014; Oliveira *et al.*, 2017).

Em outra metanálise baseada em 53 trabalhos, De Stefano e Jacobson (2017) também observaram redução nos estoques de carbono no solo na mudança do uso do solo de floresta para agrofloresta (25% na camada de 0 a 30 cm). A transição de ocupação de agricultura para agrofloresta aumentou o estoque de carbono no solo em 40% na camada de 0 a 100 cm. As conversões de pasto para agrofloresta e de área não cultivada para agrofloresta aumentaram os estoques de carbono no solo em 10 e 25%. Os sistemas silvipastoril, agropastoril e agrossilvopastoril mostraram-se capazes de aumentar os estoques de carbono no solo em comparação aos outros sistemas. Segundo os autores, as agroflorestas apresentam maior capacidade de aumentar os estoques de carbono e a persistência do carbono no solo. A maior produção de liteira, o denso e profundo sistema

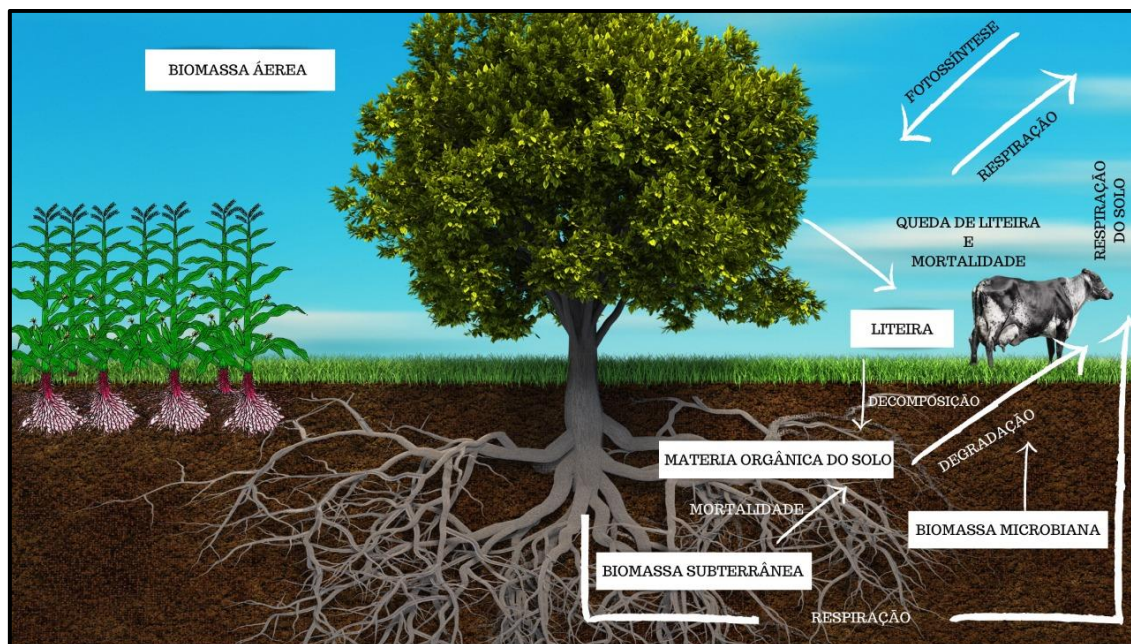
radicular, o melhor aproveitamento dos recursos naturais do sistema, a maior umidificação e agregação do solo, a maior ciclagem de nutrientes e o menor revolvimento do solo são os principais fatores que determinam o maior estoque de carbono no solo em sistemas arborizados.

As agroflorestas têm impacto direto no desempenho dos sistemas produtivos devido aos efeitos das árvores no uso sustentável do solo e no manejo dos recursos naturais. A interação entre árvores, pasto, lavoura e animais forma sistemas mais complexos estrutural e funcionalmente. Esses sistemas complexos também se tornam mais eficientes pela maior capacidade de capturar e usar recursos (luz, nutrientes e água) e pela interação benéfica entre os ciclos biológicos dos componentes do sistema. Tais interações, junto à maior diversidade acima e abaixo do solo, aumentam a estabilidade e a resiliência do sistema. Portanto, as agroflorestas possibilitam uma interação mais sustentável e duradoura com os ambientes naturais em comparação às monoculturas (Nair *et al.*, 2009B; Schoeneberger, 2009; Soto-Pinto *et al.*, 2010).

A capacidade produtiva do ecossistema e sua habilidade de armazenar carbono dependem de fatores como as condições edafoclimáticas, as espécies utilizadas, os manejos utilizados, a densidade e a idade das plantas. Esses fatores alteram a interação e a disputa por nutrientes no solo, a profundidade e a distribuição das raízes, a qualidade e a quantidade de liteira e a entrada de carbono no sistema. De forma geral, considera-se que os estoques de carbono podem ser ranqueados em florestas nativas > agroflorestas > silvicultura > pastagens produtivas > integração lavoura-pecuária (ILP) > lavoura em plantio direto > pasto degradado > lavoura tradicional (Salton, 2005; Nair *et al.*, 2009B).

A integração pecuária-floresta (IPF) pode ser denominada como um tipo de agrofloresta em razão da integração de árvores, de animais e de plantas forrageiras em um mesmo local. No Brasil, a IPF é desenvolvida desde pequenas agroflorestas em propriedades familiares até grandes empreendimentos rurais. Um dos principais benefícios da IPF é a capacidade de armazenar grandes quantidades de carbono acima e abaixo do solo, em comparação com as pastagens e as lavouras. O sequestro de carbono é decorrente da retirada de CO₂ da atmosfera e de seu armazenamento nos tecidos vegetais ou no solo, por longo período. Na IPF, as principais formas de armazenar carbono acima do solo são na biomassa das pastagens e, sobretudo, na das árvores. O armazenamento de carbono abaixo do solo acontece na biomassa de raízes grossas e finas, nos microrganismos do solo e no carbono estável nas formas orgânica e inorgânica (Figura 1) (Nair *et al.*, 2009B).

Figura 1. Representação esquemática da dinâmica de entrada e saída de carbono em agroflorestas



Fonte: Desenvolvimento pessoal.

McGroddy *et al.* (2015) avaliaram os estoques de carbono em sistemas de IPF com espécies naturais em 100 fazendas, localizadas em quatro regiões do Equador. Os resultados mostraram que a maior parte do carbono armazenado no sistema está no solo. Entretanto, o carbono armazenado na biomassa aérea das árvores também compõe boa parte do carbono total do sistema (Tabela 1).

Tabela 1. Estoque de carbono (Mg/ha) por componente do sistema de IPF em quatro regiões do Equador

Componente do sistema	Sinai	Huamboya	Proano	Sta. Isabel
Biomassa viva acima do solo	31,4	25,3	17,1	6,1
Raízes grossas	9,4	7,6	5,1	1,8
Raízes finas na camada de 0 a 10 cm	1,9	1,7	2,9	2,1
Raízes finas na camada de 10 a 20 cm	1,0	1,0	1,5	1,3
Carbono no solo na camada de 0 a 10 cm	41,7	41,7	37,6	44,3
Carbono no solo na camada de 10 a 20 cm	53,0	45,2	47,4	53,3

Fonte: Adaptado de McGroddy *et al.* (2015).

Andrade *et al.* (2008) relataram o grande problema do desmatamento na Costa Rica, a partir da década de 1960, para a produção agropecuária, e a posterior perda da capacidade produtiva dessas áreas. Os sistemas de IPF com gramíneas melhoradas podem ser alternativas para aprimorar a produção agropecuária do país e aumentar os estoques de carbono dos sistemas. Os autores avaliaram os estoques de carbono da massa área e

das raízes em sistemas em pleno sol com as gramíneas *Urochloa brizantha* e *Hyparrhenia rufa*, ou essas gramíneas com as espécies arbóreas leguminosas *Pithecellobium saman*, *Diphysa robinoides* ou *Dalbergia retusa*, por três anos.

O estoque de carbono total variou de 3,5 Mg C/ha no pleno sol a 12,5 Mg C/ha na IPF. O total de carbono no solo aumentou 27, 38 e 43% quando *D. retusa*, *D. robinoides* e *P. saman* foram incluídas no sistema com *U. brizantha*, e nenhum efeito foi observado com o *H. rufa*. Esses resultados mostram a oportunidade de estocar carbono no sistema com adição de árvores. A biomassa das raízes das árvores no 0,6 m superficial foi significativamente maior ($p < 0,01$) associada com o pasto de *U. brizantha* (101 g m²) em comparação com a associada com o pasto de *H. rufa* (54 g m²).

Segundo os autores, a maior biomassa das raízes das árvores em associação com *U. brizantha* pode indicar maior estímulo ao crescimento das raízes em um ambiente com maior competição por água. Os canais formados pelas raízes das gramíneas após corte ou senescência podem ficar disponíveis para as raízes das árvores e melhorar o seu crescimento. Além disso, o aumento da disponibilidade de nitrogênio no solo pelas árvores leguminosas pode contribuir para maior crescimento e estoque de carbono pela *U. brizantha* e posterior inclusão no solo.

Xu *et al.* (2016) avaliaram os estoques de carbono acima e abaixo do solo em sistema com pastagem natural, com pastagem de *Paspalum notatum* manejada com aplicação de calcário e adubada e com IPF com *P. notatum* adubado e *Pinus elliottii*. Os autores observaram maior estoque de carbono na IPF (168 Mg/ha) em comparação com a pastagem manejada (121 Mg/ha) e com a pastagem natural (94 Mg/ha). Essa diferença ocorreu pelo maior acúmulo de carbono na parte aérea das árvores na IPF (59 Mg/ha) em comparação à pastagem manejada (2,1 Mg/ha) e à natural (3,8 Mg/ha). O carbono orgânico no solo foi responsável por 81 e 90% do carbono total do sistema na pastagem nativa e na melhorada e apenas 61% na IPF. Esses resultados demonstram que o manejo mais adequado das pastagens pode melhorar os estoques de carbono em comparação às pastagens nativas, principalmente se houver arborização das pastagens.

Resultados semelhantes foram observados por Haile *et al.* (2010), que encontraram maiores estoques de carbono no solo ocupado com IPF formada por *P. elliottii* e grama-batatais (*P. notatum*) em comparação ao pleno sol com *P. notatum*. Na IPF, houve maior participação de derivados de carbono C3, comparado com o pleno sol, em todas as camadas do solo, mas com maior amplitude nas camadas mais profundas. As árvores contêm sistema radicular mais profundo e volumoso em comparação com as

gramíneas. Além disso, a decomposição do carbono do solo é mais rápida nas camadas superficiais em relação às mais profundas e, por isso, a permanência do carbono nas camadas mais profundas pode ser maior. Portanto, além do estoque de carbono na parte aérea das árvores, o estoque de carbono no solo também é importante nesses sistemas.

Howlett *et al.* (2011) analisaram os estoques de carbono no solo em sistemas de IPF com *P. radiata* e *Betula pendula*, na região da Galícia, na Espanha. Os estoques de carbono no solo foram maiores no sistema com *B. pendula* em relação ao com *P. radiata* e os estoques em IPF foram maiores que em pastagem convencional, principalmente nas camadas mais profundas e na forma de macroagregados na camada superficial. Segundo os autores, a deterioração das raízes, a queda das folhas das árvores e a desestruturação profunda do solo são os principais fatores que aumentam a entrada de carbono e sua manutenção no solo por proteção contra a decomposição microbiana.

Em metanálise global, Chatterjee *et al.* (2018) revisaram 78 trabalhos e observaram que os estoques de carbono no solo até um metro de profundidade, nos sistemas agroflorestais, foram 27% maiores em áreas áridas e semiáridas, 26% em regiões tropicais úmidas, 5,8% em regiões mediterrâneas e 5,3% em regiões temperadas em comparação com áreas ocupadas com pasto ou agricultura. Na região de Alberta, no Canadá, Baah-Acheamfour *et al.* (2015) encontraram maior estoque de carbono no solo nas camadas de 0 a 10 e de 10 a 30 cm, em regiões com árvores (89 e 119 Mg C/ha) em comparação a regiões ocupadas apenas com estrato herbáceo (76 e 77 Mg C/ha). Nos ambientes em que havia árvores, o carbono estava mais disponível nas frações livres e oclusas e menos na fração mineralizada em relação às áreas com estrato herbáceo. Segundo os autores, esse fato pode ocorrer em razão da maior deposição de liteira e da incorporação de carbono no solo, bem como de mudanças na temperatura, na umidade e no manejo do solo que favorecem a mineralização do carbono.

Os ambientes arborizados podem aumentar os estoques de carbono no solo devido à deposição constante de liteira e ao revolvimento limitado do solo. Além disso, os estoques de carbono do sistema podem ser aumentados em virtude da biomassa aérea das árvores e do profundo e amplo sistema radicular. O carbono no solo está disponível na fração livre, na fração protegida pela oclusão em agregados e na fração estável quimicamente pela associação com superfícies de minerais (Silva *et al.*, 2011; Tonucci *et al.*, 2011; Casals *et al.*, 2014; Cárdenas *et al.*, 2018).

Na Inglaterra, Upson *et al.* (2016) observaram maior estoque de carbono no solo coberto por pasto (59,6 Mg/ha) em comparação à IPF (59,4 Mg/ha) e à floresta (46,2

Mg/ha), possivelmente em razão da menor cobertura do solo com forragem nas agroflorestas. Entretanto, quando se considerou o estoque de carbono na biomassa superior, a IPF apresentou 63,4 Mg/ha de carbono, valor muito superior ao apresentado pelo pasto. De acordo com os autores, a combinação de árvores e de pastagem possibilita maior incorporação de carbono no solo em decorrência da maior produção de raízes e da maior decomposição de liteira em comparação aos sistemas de monocultivo.

Os estoques de carbono na biomassa aérea nas agroflorestas representam um importante reservatório de carbono. Muller *et al.* (2009) avaliaram os estoques de carbono na parte aérea de um sistema de IPF formado por árvores de *Eucalyptus grandis* e *Acacia mangium*, com linhas duplas com três metros entre linhas e plantas e 30 metros entre renques (60 árvores de eucalipto e 45 de acácia por hectare), e pasto de *U. decumbens*. O estoque de carbono no eucalipto foi de 11,17 Mg/ha e na acácia, de 3,12 Mg/ha, com total de carbono no componente arbóreo de 14,29 Mg/ha. No resíduo do pasto, foi estimado 0,58 Mg/ha de carbono.

No Brasil, Torres *et al.* (2017) estudaram o balanço de carbono em quatro sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF). O primeiro foi composto por milho (*Zea mays*), no primeiro ano, e pasto de *U. decumbens*, no segundo ano, em integração com *Eucalyptus saligna*, com três metros entre plantas e oito metros entre renques. O segundo foi composto por feijão (*Phaseolus vulgaris*), no primeiro ano, e pasto de *U. decumbens*, no segundo ano, em integração com *E. urophylla* x *E. grandis*, com três metros entre plantas e oito metros entre renques. O terceiro foi composto por pasto de *U. decumbens* e *E. urophylla* x *E. grandis*, com 1 metro entre plantas e nove metros entre renques. O quarto foi composto por pasto de *U. decumbens* e *E. urophylla* x *E. grandis*, com três metros entre plantas e 12 m entre renques. Em todos os sistemas, a pastagem foi pastejada por bovinos de corte com 1 UA/ha. Todos os sistemas apresentaram balanço positivo de carbono, ou seja, estocaram mais carbono do que emitiram. Esses resultados demonstram como os sistemas de IPF mais utilizados no Brasil (arranjos entre eucalipto e *Urochloa*) são capazes de mitigar as emissões de GEE e ainda funcionar como dreno de carbono da atmosfera.

Os sistemas de integração lavoura-floresta (ILF) também são reconhecidos por estocarem mais carbono que as monoculturas. Wotherspoon *et al.* (2014), no Canadá, observaram maior estoque de carbono no solo e na biomassa aérea em sistemas produtores de soja consorciados com até 111 árvores/ha de *Populus deltoides*, *Picea abies*, *Quercus*

rubra, *Juglans nigra* ou *Thuja occidentalis*. Os estoques totais de carbono variaram de 91,3 a 113,4 Mg/ha nos sistemas com árvores e 71,1 Mg/ha no monocultivo de soja.

O plantio de árvores leguminosas em consórcio com pastagens e culturas pode aumentar os estoques de carbono no solo devido à maior produção de biomassa aérea e à posterior incorporação desse carbono no solo. Beedy *et al.* (2010) encontraram aumentos de 12% na matéria orgânica do solo, de 40% na matéria orgânica particulada, de 62% no carbono ligado à matéria orgânica particulada e de 86% no nitrogênio ligado à matéria orgânica particulada em sistema com plantio de milho (*Zea mays*) consorciado com *Gliricidia sepium* em comparação ao monocultivo de milho. Por outro lado, a fertilização nitrogenada de até 92 kg/ha aumentou apenas 15% na matéria orgânica particulada no plantio consorciado e 27% na monocultura de milho. Os resultados indicam a possibilidade de utilizar espécies arbóreas ricas em nitrogênio como estratégia para melhorar a qualidade e os estoques de carbono no solo e reduzir as emissões de GEE em razão da menor utilização de fertilizantes nitrogenados inorgânicos.

Coser *et al.* (2018) avaliaram os estoques de carbono no solo de uma área, durante quatro anos, sob transição de pastagem de baixa produtividade para um sistema de ILF (*Zea mays* + *G. sepium* + *Megathyrsus maximum* cv. *Massai*) no Distrito Federal. O carbono orgânico total, o associado a mineral e a matéria orgânica do solo particulada aumentaram após os anos de implementação do sistema. Os estoques de carbono na camada de 0 a 40 cm aumentaram de 52,6 Mg ha⁻¹, no primeiro ano, para 66,5 Mg ha⁻¹, no último ano. Os autores ressaltaram a importância do plantio direto e da decomposição dos resíduos da gliricídia na melhoria dos estoques de carbono do solo, principalmente das frações mais estáveis. Além disso, a ciclagem de nutrientes pelas raízes da gliricídia aumenta a produção de biomassa da lavoura e da forragem e pode aumentar a produção de palhada e a inclusão de carbono no solo.

Outro benefício dos sistemas agroflorestais é a menor emissão de óxido nitroso pelo solo. Franzluebbbers *et al.* (2016) observaram, no estado da Carolina do Norte, nos EUA, que as emissões de N₂O foram menores sob a copa de *Pinus* sp. em relação ao meio do renque. As menores temperatura e conteúdo de água do solo foram os principais fatores responsáveis pelas menores emissões de CO₂ e N₂O. Segundo os autores, a menor fertilização nitrogenada demandada também reduz as emissões de óxido nitroso pelo sistema.

No Canadá, Baah-Acheamfour *et al.* (2016) observaram maior captura de metano e menor emissão de óxido nitroso no solo em áreas arborizadas em comparação a áreas

comuns, fato que pode reduzir as emissões de GEE em sistemas de IPF. Oliveira *et al.* (2020) também avaliaram o fluxo de metano e de óxido nitroso no solo em duas áreas com plantações de eucalipto e em uma área de cerrado nativo, por 26 meses, no Distrito Federal. O fluxo de metano foi de -22,48, -8,38 e -1,31 $\mu\text{g CH}_4/\text{m}^2/\text{h}$ nos sistemas com eucalipto e no Cerrado, respectivamente. Esses resultados sugerem que, em sistemas de IPF, o solo pode funcionar como um dreno de metano, principalmente pela ação de bactérias metanotróficas. O fluxo de óxido nitroso foi de 5,45, 4,85 e 3,85 $\mu\text{g N}_2\text{O}/\text{m}^2/\text{h}$ nos sistemas com eucalipto e Cerrado nativo, respectivamente. Os autores ressaltaram que a mudança de Cerrado para eucalipto não alterou significativamente o fluxo de GEE em comparação ao Cerrado nativo. Portanto, os aumentos dos estoques de carbono no solo e na biomassa aérea podem ser grandes benefícios dos sistemas arborizados para mitigar o efeito estufa.

Carvalho *et al.* (2017) compararam o fluxo de óxido nitroso no solo entre os sistemas de ILP, de ILPF, de pastagem contínua e de Cerrado nativo. A ILP teve fluxo acumulado de óxido nitroso de 2,84 kg N/ha e a ILPF teve fluxo de 2,05 kg N/ha, enquanto o Cerrado teve fluxo negativo de 0,05 kg N/ha. Segundo os autores, a menor emissão de óxido nitroso na ILPF pode ocorrer em razão da presença de compostos fenólicos na liteira do eucalipto, que podem inibir as bactérias do solo produtoras de óxido nitroso (nitrificantes e desnitrificantes).

AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA E DE CENÁRIOS EM SISTEMAS AGROPECUÁRIOS

As avaliações de ciclo de vida e de cenários são metodologias utilizadas pela comunidade científica mundial. Essas avaliações são importantes na determinação dos indicadores ambientais gerais de produtos, de sistemas, de cadeias produtivas, de países e do mundo. Além disso, essas avaliações permitem determinar o impacto de mudanças de manejo e da utilização de tecnologias em sistemas produtivos nos âmbitos local, regional e nacional (De Vries *et al.*, 2015). As determinações dos indicadores ambientais, como a pegada de carbono dos produtos agropecuários produzidos em várias partes do mundo, também são fundamentais na determinação da visibilidade internacional e influenciam diretamente o desempenho econômico de diversos países (Desjardins *et al.*, 2012; Ruviaro *et al.*, 2012).

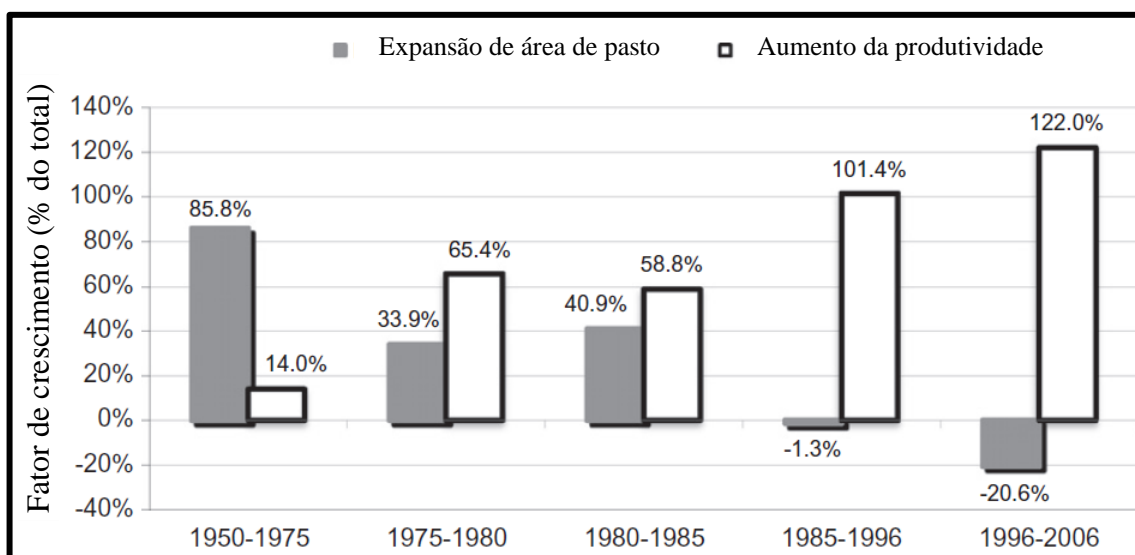
A produção pecuária no Brasil é heterogênea quanto à eficiência da transformação de recursos naturais em produtos comerciais. Em razão disso, a pecuária nacional é muitas

vezes caracterizada, pelo mercado internacional, como atrasada e causadora de degradação ambiental. Essa visão pode ser encontrada no trabalho publicado por Cederberg *et al.* (2009), do Instituto Sueco para Agricultura e Biotecnologia, os quais avaliaram o ciclo de vida da produção de carne brasileira para a Europa e concluíram que a produção de GEE na produção de carne brasileira é pelo menos 30 a 40% maior que a produzida na Europa. Segundo os autores, a alta emissão de metano pelos animais e a alta ocorrência de pastagens degradadas são os principais fatores que geram essa alta emissão. As principais ações citadas como mitigadoras dessa emissão é a intensificação dos sistemas de produção e a redução da idade ao abate. Cederberg *et al.* (2011) afirmaram que a pegada de carbono da carne brasileira produzida em áreas desmatadas na Amazônia pode ser altíssima. De acordo com Cohn *et al.* (2016), fatores como infraestrutura, disponibilidade de tecnologias, relações com outros produtores, nível de conhecimento dos produtores vizinhos estão ligados à sustentabilidade da agricultura no Brasil.

Com base nos dados reais de 22 fazendas que produzem gado de corte extensivamente, Cerri *et al.* (2015) observaram que 89 a 98% das emissões de GEE eram provenientes dos animais. Dessas emissões, 67 a 79% eram decorrentes da fermentação entérica e 20 a 33% provinham da decomposição de esterco. Esses resultados mostram que, nas fazendas manejadas extensivamente no Brasil, há a necessidade e a oportunidade de melhorar o manejo geral do rebanho e reduzir as emissões dos GEE. Algumas das medidas capazes de melhorar os sistemas produtivos nacionais e reduzir as emissões de GEE são a melhoria da qualidade da forrageira, a suplementação proteico-energética, a utilização de rebanhos melhorados, a melhoria do *status* sanitário dos rebanhos, a redução da morbidade e da mortalidade e o uso de aditivos.

Entretanto, Martha Jr. *et al.* (2012) avaliaram a evolução da pecuária de corte no Brasil desde 1950 e observaram que os padrões produtivos nacionais passaram por intensa transformação até os dias atuais. No período de 1950 a 1975, o crescimento da pecuária de corte no Brasil ocorreu principalmente com sistemas extensivos e pouco preocupados com os índices produtivos da produção pecuária, sobretudo em razão da política pública de expansão agrícola e crédito subsidiado. Porém, de 1975 até 2006, o aumento da produtividade animal, por meio do melhoramento genético e de manejos, foi o principal responsável pelo crescimento da produção de carne no país (Figura 2).

Figura 2. Evolução das áreas ocupadas com pastagens e do aumento da produtividade da agropecuária brasileira de 1950 a 2006



Fonte: Adaptado de Martha Jr. *et al.* (2012).

Portanto, é necessário incentivar ações de *marketing* e divulgação de informações que demonstrem que a agropecuária nacional está mudando e não deve continuar sendo tachada como atrasada e insustentável. Em outro levantamento mais recente do período de 2000 a 2010, Zomer *et al.* (2016) constataram que o Brasil tinha 6.790 milhões de toneladas de carbono em biomassa aérea em 2000 e, em 2010, 7.729 milhões de toneladas de carbono, ou seja, acumulou 938,8 milhões de toneladas de carbono na biomassa nesse período. Além disso, os autores afirmaram que o Brasil é um dos países que mais estocaram carbono na biomassa aérea no mundo no mesmo período. Portanto, fica evidente que a agropecuária nacional ainda tem que melhorar muito seus indicadores produtivos e ambientais. Porém, a agropecuária nacional vem melhorando seus indicadores ao longo dos últimos anos, principalmente em razão da utilização de tecnologias mais sustentáveis, como os sistemas integrados.

Crosson *et al.* (2011) avaliaram 31 trabalhos sobre avaliação de ciclo de vida em gado de leite e corte e observaram que medidas para melhorar a produtividade por área e por animal e a fertilidade dos rebanhos podem reduzir as emissões de GEE por kg de produto. Além disso, o sequestro de carbono nos solos agrícolas tem potencial de compensar boa parte das emissões dos animais criados em pasto. Nesse contexto, Sá *et al.* (2016) discutiram as oportunidades de mitigação das emissões de GEE na América Latina e destacaram a necessidade de intensificar os sistemas por meio de recuperação de pastagens (correção de acidez, utilização de sementes melhores e adubações com N:P:K), utilização de forrageiras com alta qualidade e produtividade e aumento da capacidade de

suporte dos pastos; tratamento e reuso de dejetos animais e industriais para produção de energia e fertilização do solo; aumento das áreas e da utilização adequada de plantio direto (revolvimento mínimo do solo e limitado à linha de plantio, cobertura permanente do solo com palhada e diversificação das culturas por meio de rotação); promoção de fixação biológica de nitrogênio por meio do plantio de leguminosas; implantação de sistemas de ILPF e maximização dos efeitos sinérgicos entre os componentes, bem como plantio de florestas e utilização de madeira em construção civil e em móveis.

Cardoso *et al.* (2016) estudaram a pegada de carbono de sistemas produtores de carne em cinco cenários: o um foi caracterizado por pasto de *U. decumbens* degradado e sem manejo; o dois foi constituído por pasto de *U. brizantha* cv. Marandu renovada a cada 10 anos e oferta de sal mineral esporadicamente; o três foi caracterizado por pasto composto por gramínea e a leguminosa *Stylosanthes* spp., renovação do pasto a cada cinco anos, adubações de 100 kg de fósforo e potássio e melhor manejo animal; o quatro foi composto por pasto de *M. maximum* cv. Tanzânia renovado a cada cinco anos, adubado e com bom manejo animal; e o cinco foi formado por pasto de *M. maximum* cv. Tanzânia renovado a cada cinco anos, adubado e com bom manejo animal e utilização de confinamento por 75 dias antes do abate.

Entre o cenário um e cinco, o aumento da digestibilidade da forragem reduziu o consumo e a emissão de metano por ganho de peso vivo. As emissões de óxido nitroso aumentaram com a aplicação de adubos nitrogenados. As emissões de CO₂ aumentaram principalmente em razão do maior uso de máquinas. Porém, a pegada de carbono (kg CO₂ eq./kg carcaça) foi de 58,3 no cenário um, de 40,9 no dois, de 29,6 no três, de 32,4 no quatro e de 29,4 no cinco. Segundo os autores, a intensificação da produção do rebanho bovino reduz as emissões dos GEE por unidade de produto, o uso de rebanhos melhorados pode reduzir ainda mais as emissões em sistemas intensificados, e a redução da área para produção animal pode liberar área para outras atividades ou reflorestamento e sequestro de carbono.

Com objetivo semelhante, Strassburg *et al.* (2014) avaliaram como a intensificação do manejo das pastagens no Brasil poderia atender à demanda por alimento, reduzir as emissões de GEE e reduzir o desmatamento no país. Os resultados mostraram que as pastagens atuais produzem apenas de 32 a 34% da sua capacidade total e poderiam suprir a demanda por produtos agropecuários até 2040, sem a conversão de ecossistemas naturais, com o aumento da produtividade da pastagem para 49 a 52%. De acordo com os autores, a baixa produtividade das pastagens no Brasil pode ser atribuída ao baixo nível

tecnológico utilizado nos sistemas produtivos, à especulação fundiária e à posse insegura da terra, bem como à falta de serviços de assistência técnica e extensão rural.

A intensificação das pastagens poderia mitigar 14,3 Gt CO₂ eq. em razão do menor desmatamento, da menor emissão de metano e de óxido nitroso pela redução do rebanho e do aumento do estoque de carbono no solo sob pastagens melhoradas. Os autores ressaltaram que, junto à intensificação das pastagens, é necessário que haja políticas públicas para evitar a nova expansão da pecuária extensiva em terras desmatadas. Além disso, é necessário prover subsídios para a agricultura familiar para que esse grupo de agricultores não seja excluído do processo de intensificação.

Kamali *et al.* (2016) avaliaram a pegada de carbono e o lucro operacional de quatro sistemas: pastagem natural (pastagem sem adubação e com baixos índices produtivos) – PN, pastagem melhorada (pastagem adubada e consorciada com gramíneas de inverno) – PM, pastagem natural e pastejo de palhada de soja no inverno – PNS, e pastagem natural e confinamento por 120 dias – PNC. A pastagem melhorada teve menor pegada de carbono (18,7 kg CO₂ eq. kg⁻¹ PV) e ocupação de terra (37,0 m² kg⁻¹ PV) em comparação aos demais sistemas. O sistema com pastejo de palhada de soja no inverno teve o maior custo operacional (R\$ 1.567.800/fazenda), seguido do sistema com pastagem melhorada (R\$616.400/fazenda). Segundo os autores, o sistema com pastagem melhorada é promissor para reduzir a pegada de carbono da pecuária de corte no Brasil em razão da menor emissão de GEE e ocupação de terra.

Considerando-se os indicadores produtivos, é possível observar que a capacidade de suporte do pasto foi maior com a pastagem melhorada (2,2 cabeças/ha) em relação aos outros sistemas (0,5 cabeças/ha): a idade ao abate dos animais na pastagem melhorada foi de 24 meses, enquanto nos sistemas com pastagem natural foi de 36 meses, a eficiência alimentar foi de 33,6 kg PV/t MS no sistema com pastagem melhorada e de 31,8 kg PV/t MS no sistema com pastagem natural, e a ocupação da terra foi de 37,0 m²/kg PV na pastagem melhorada e de aproximadamente 200,0 m²/kg PV na pastagem natural. Esses resultados mostram que a intensificação dos sistemas que utilizam pastagens é capaz de aumentar a capacidade produtiva nacional e a taxa de desfrute com maior eficiência alimentar e menor ocupação de área. Esse fato possibilita reduzir a pressão para o desmatamento e a abertura de novas áreas e libera novas áreas para reflorestamento.

A mesma tendência foi encontrada por Dick *et al.* (2015) em sistemas extensivo e intensivo comumente encontrados no sul do Brasil. As emissões de GEE, o uso da terra, a eutrofização de recursos hídricos, o esgotamento de recursos hídricos e o esgotamento

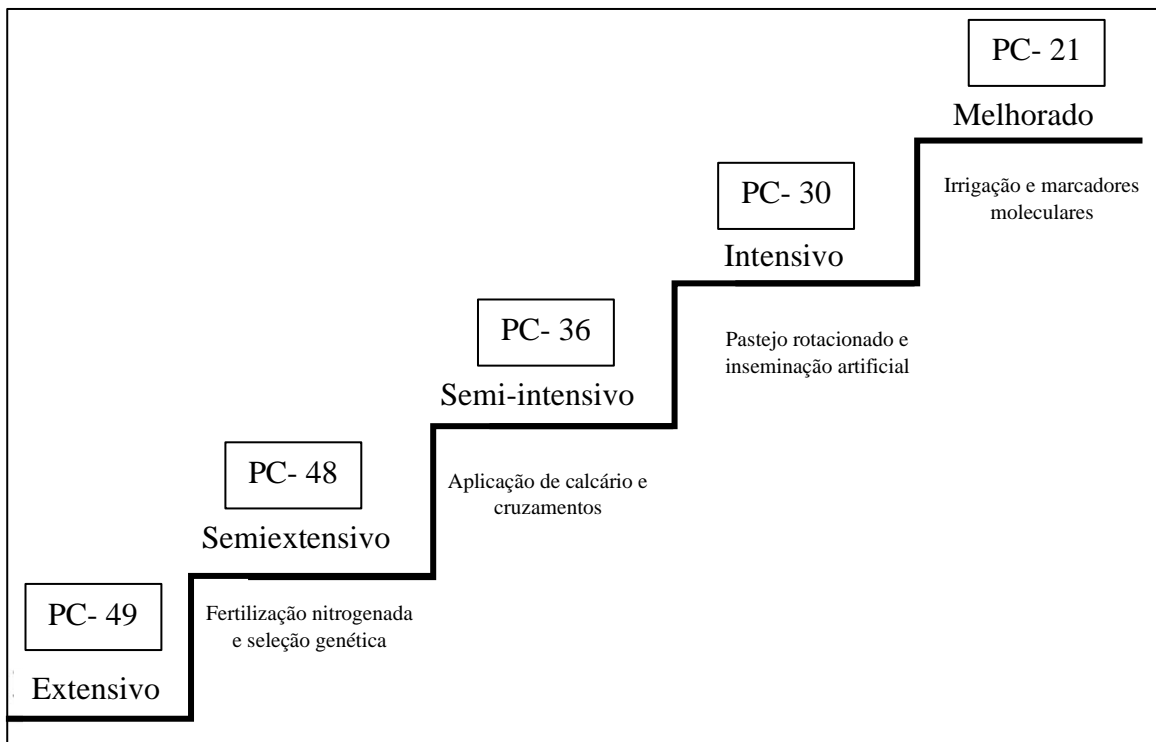
de recursos fósseis por unidade de produto produzido foram menores no sistema intensivo. Por outro lado, o sistema extensivo causou menor esgotamento de minerais e acidificação do solo.

Stanley *et al.* (2018), no meio-oeste dos EUA, avaliaram o balanço de carbono de sistemas de terminação de gado de corte em um sistema intensivo com manejo rotacionado e em um sistema com confinamento com dados de fazendas e da literatura. O desempenho animal foi melhor e as emissões de carbono foram menores no confinamento (6,09 kg CO₂ eq. kg de carcaça) em relação ao pastejo rotacionado (9,62 kg CO₂ eq. kg de carcaça). Houve uma taxa de sequestro de carbono de 3,59 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹ no pastejo rotacionado, que, quando adicionado à estimativa da pegada de carbono, reduziu a pegada de carbono para -6,65 kg CO₂ eq. kg de carcaça⁻¹. Esses resultados indicam o potencial de dreno de carbono da atmosfera com a utilização de pastagens bem manejadas e com manejo rotacionado. Entretanto, o confinamento requer menos da metade de terra para a produção de carne. Os dois sistemas apresentam a capacidade de mitigar os efeitos causados pelas emissões de carbono na pecuária de corte.

No Canadá, Beauchemin *et al.* (2011) analisaram 11 estratégias (cenários) de mitigação da pegada de carbono da produção de gado de corte em comparação ao sistema normalmente utilizado (Referência), e algumas estratégias foram eficientes na redução da pegada de carbono. O sistema considerado referência no Canadá apresenta alta eficiência produtiva, e, possivelmente por isso, algumas estratégias aumentaram as emissões de GEE.

Já no Brasil, Mazzetto *et al.* (2015) avaliaram a pegada de carbono em sistema produtivo de gado de corte, com a utilização de quatro etapas de intensificação do sistema, com estratégias de melhoria de produção de pasto e manejo animal, em comparação ao sistema extensivo. O sistema mais intensificado reduziu 92% da área de pastagem utilizada, em comparação com o sistema extensivo. A intensificação aumentou o número de bezerros, de novilhos e novilhas e diminuiu o tempo do ciclo produtivo e a idade ao abate. A pegada de carbono também foi reduzida com a intensificação do sistema (Figura 3). A menor pegada de carbono e a menor área requerida mostram que a melhoria do manejo dos animais e a melhoria produtiva das pastagens podem reduzir as emissões de GEE pelos sistemas, liberar a área para reflorestamento, diminuir a pressão para o desmatamento e melhorar a imagem da pecuária nacional.

Figura 3. Evolução na intensificação do sistema produtivo e suas respectivas pegadas de carbono (PC) em kg CO₂ eq./kg carcaça



Fonte: Adaptado de Mazzetto *et al.* (2015).

Essas avaliações de cenários mais restritos ao âmbito produtivo facultam inferir como o manejo das propriedades interfere no balanço de carbono. Porém, avaliações mais amplas sobre o impacto de possíveis ações públicas sobre a mitigação dos GEE possibilitam entender como cada bioma pode ser manejado para reduzir o processo de intensificação do efeito estufa. Além disso, esses estudos mais amplos permitem compreender como determinadas tecnologias podem impactar as emissões nacionais de acordo com a possibilidade de sua implementação em cada bioma brasileiro.

Cerri *et al.* (2018) analisaram a influência de oito cenários de possíveis ações, nos estados de Rondônia e Mato Grosso, sobre os estoques de carbono nos biomas Amazônia e Cerrado. Os cenários foram: 1- recuperação de 9% das pastagens degradadas nos dois estados de acordo com o plano ABC; 2- recuperação de 100% das pastagens degradadas nos dois estados; 3- conversão de 100% das pastagens degradadas em ILP; 4- conversão de 100% das áreas com cultivo tradicional em plantio direto; 5- conversão de 100% da área de plantio direto em ILP; 6- conversão de 100% da área em cultivo convencional em ILP; 7- conversão de 100% da área de cultivo tradicional em plantio direto e de 100% da área de plantio direto em ILP e 8- conversão da área de plantio convencional e de plantio direto em ILP. Os autores demonstraram que as emissões de carbono na conversão da

Amazônia em pasto e em lavoura foi 4 a 5,5 vezes maior que no Cerrado. Além disso, os autores mostraram que a intensificação da agricultura no Cerrado, a preservação da floresta e o reflorestamento na Amazônia seriam as ações mais eficientes para mitigar as emissões de carbono para a atmosfera. Portanto, fica claro que, além de desenvolver novas tecnologias, é necessário entender como cada tecnologia pode impactar a mitigação das emissões de carbono de cada bioma nacional.

Palermo *et al.* (2014) avaliaram o efeito de quatro cenários para a pecuária de corte no Brasil nas emissões de GEE. O piqueteamento e a rotação da pastagem tiveram o maior potencial de mitigação de GEE, com redução de 17,7 Gt CO₂ eq., enquanto o consórcio de leguminosas com pastagens teve o menor potencial, com 7,1 Gt CO₂ eq. A utilização de confinamento foi capaz de mitigar 8,3 Gt CO₂ eq., e o cenário que avaliou a conjunção de todos os três cenários acima foi capaz de reduzir 13,1 Gt CO₂ eq. Segundo os autores, a intensificação dos sistemas, a redução de áreas de pastagem e a diminuição da pressão por abertura de novas áreas são fundamentais para reduzir as emissões de GEE e regenerar os biomas nacionais. Além disso, o cenário de intensificação dos sistemas baseado em pastagens melhoradas e a mescla de todos os cenários foram os melhores cenários e mais factíveis para a realidade brasileira. A continuação da produção animal extensiva é o pior cenário do ponto de vista ambiental, e a utilização de confinamento, embora reduza as emissões de GEE, não é factível em todo o Brasil devido ao alto custo do investimento.

Em países como os EUA, onde a cadeia produtiva é mais tecnificada e o confinamento é utilizado, a produção de bovinos em pastagens, mesmo que intensivamente, pode não ser a melhor opção produtiva do ponto de vista ambiental. Capper *et al.* (2012) avaliaram a pegada de carbono de três sistemas norte-americanos, e a produção animal em pastagens, do nascimento ao abate, gerou a maior pegada de carbono e os piores índices ambientais em comparação aos sistemas que utilizam confinamento. O manejo de animais com maior eficiência alimentar, estratégias nutricionais mais adequadas e diminuição da idade ao abate reduz o tamanho do rebanho e melhora a eficiência deles em converter o alimento em carcaça. Do ponto de vista metabólico, o maior ganho de peso diário e a redução da idade ao abate reduzem a conversão do alimento ingerido em energia gasta para manutenção. Esses efeitos são capazes de diminuir drasticamente as emissões de GEE do setor produtivo e atingir a meta de aumentar a produção mundial de carne.

Dick *et al.* (2014) mostraram, com dados produtivos do sul do Brasil e por meio de avaliação de cenários, que é possível promover a intensificação da produção agropecuária conjuntamente com a preservação ambiental e a mitigação dos GEE. Nesse trabalho, a utilização de melhorias produtivas gerou impactos positivos na redução das emissões de GEE, no uso de terra e de combustíveis fósseis. A melhoria das pastagens com a introdução de gramíneas melhoradas em pastejo rotacionado, a intensificação do uso de pastagens, a introdução de leguminosas nos pastos, o aumento na taxa de desmama e a utilização de estratégias que aumentam os estoques de carbono no solo foram eficientes em reduzir os impactos negativos da produção agropecuária, mesmo que por vias distintas. Ruviaro *et al.* (2014) também mostraram reduções nas emissões de GEE em diferentes sistemas com pastagens melhoradas e diferentes estratégias de suplementação em comparação ao sistema com pastagem natural (Tabela 2).

Tabela 2. Emissões médias de CO₂ equivalente de diferentes sistemas de produção, de acordo com a pastagem utilizada

Sistema de produção	Emissões de CO ₂ eq.
Pastagem natural	42,6
Pastagem natural melhorada	20,2
Pastagem natural com azevém	29,6
Pastagem natural melhorada com sorgo	23,4
Pastagem de azevém com sorgo	20,0
Pastagem natural suplementada com sal proteinado	33,3
Pastagem natural suplementada com sal proteico e energético	23,4

Fonte: Adaptado de Ruviaro *et al.* (2014).

Figueiredo *et al.* (2016) avaliaram o balanço dos GEE e a pegada de carbono por meio da avaliação de cenários da produção de bovino em pastagem degradada, em pastagem manejada intensivamente e em pastagem em ILPF. As emissões de GEE por área foram maiores no sistema com manejo intensivo do pasto (84.541 kg CO₂ eq./ha) em relação à ILPF (64.519 kg CO₂ eq./ha) e à pastagem degradada (8.004 kg CO₂ eq./ha), principalmente devido à maior emissão de metano dos animais em pastagem intensivamente manejada. Entretanto, devido ao maior estoque de carbono no solo com pasto com manejo intensivo e ao estoque no solo e na madeira na ILPF, a pegada de carbono foi maior nos animais criados em pasto degradado (18,5 kg CO₂ eq./kg PV) em relação à ILPF (-28,1 kg CO₂ eq./kg PV) e ao pasto com manejo intensivo (7,6 kg CO₂ eq./kg PV).

Esses resultados demonstram que a conversão de pastagens degradadas em pastagem com manejo intensivo e, principalmente, em ILPF é uma ferramenta para reduzir as emissões de GEE e a pegada de carbono da carne brasileira. A silvicultura de

eucalipto com população de 250 a 350 árvores/ha tem o potencial de sequestrar por volta de 5,0 a 5,3 Mg C/ha/ano em ciclo de produção de 10 anos. Entretanto, o principal fator ligado a esse vultoso estoque de carbono é a destinação final da madeira. Em situações em que a madeira é usada em cercas, na construção civil ou em telhados, esse estoque de carbono é mais prolongado. Todavia, quando a madeira é convertida em carvão e queimada, o carbono volta para a atmosfera.

Os debates sobre preservação ambiental no Brasil e no mundo envolvem diversos fatores, como padrões de consumo das populações, hábitos alimentares das pessoas, distribuição de renda e produção de alimentos. Silva *et al.* (2016) avaliaram o impacto de aumentar ou reduzir o consumo de carne no Brasil em 10, 20 ou 30% associado ou não ao desmatamento. No cenário com desmatamento controlado, a redução da demanda por carne pode aumentar as emissões de GEE em razão do aumento dos sistemas ineficientes e da maior intensidade de emissão por sistema. Nesse cenário com menor demanda, poderá haver menor demanda por pastagens produtivas e menor interesse pela intensificação dos sistemas, fato que pode tornar mais pastagens degradadas e aumentar as emissões de carbono do solo para a atmosfera. No cenário com maior demanda, poderá haver maior incentivo para intensificar e aumentar a eficiência dos sistemas, o que poderá reduzir a pegada de carbono da carne e aumentar os estoques de carbono no solo, principalmente do sistema radicular das pastagens. Por outro lado, no cenário com a continuação do desmatamento, as emissões de GEE foram maiores que no cenário sem desmatamento. Essas emissões seriam provenientes principalmente do desmatamento e dos animais criados em sistemas pouco intensificados.

Cohn *et al.* (2014) utilizaram diferentes cenários e mostraram que políticas públicas no Brasil, como taxar os produtores de rebanhos bovinos produzidos em pastagem convencional ou subsidiar os produtores de rebanhos produzidos em pastagem mais intensiva, podem ser eficientes em melhorar o balanço de carbono no Brasil e poupar terra do desmatamento. Buller *et al.* (2014) também mostraram que a produção animal intensiva integrada ao tratamento de dejetos por biodigestor, a produção de energia elétrica, a implantação de fertilização orgânica e a utilização de sistemas integrados, como ILP e ILPF, podem reduzir as emissões de carbono equivalente para o ambiente, aumentar a ciclagem de insumos dentro do sistema, minimizar os efeitos da utilização de combustíveis fósseis, facilitar a entrada em mercados mais exigentes e minimizar os efeitos do setor agropecuário no aquecimento global.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os sistemas agroflorestais integram diferentes espécies animais e vegetais, e essa interação resulta em modificações nos estoques de carbono dos sistemas agropecuários. As agroflorestas possibilitam maior estoque de carbono tanto no solo quanto na biomassa aérea em comparação aos monocultivos. Esses maiores estoques de carbono propiciam a melhoria dos indicadores ambientais dos sistemas agroflorestais. Portanto, esses sistemas poderiam ser utilizados em larga escala no Brasil, com o intuito de melhorar a visibilidade nacional nos mercados globais. As avaliações de ciclo de vida e de cenários são metodologias importantes na determinação dos indicadores ambientais de produtos, de sistemas, de cadeias produtivas e de países. No Brasil, a intensificação dos sistemas produtivos e a melhoria dos indicadores produtivos são as principais formas reconhecidas de aumentar a sustentabilidade da agropecuária nacional.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrade, H. J.; Brook, R.; Ibrahim, M. 2008. Growth, production and carbon sequestration of silvopastoral systems with native timber species in the dry lowlands of Costa Rica. *Plant and soil*, v. 308, n. 1-2, p. 11-22, doi: 10.1007/s11104-008-9600-x.
- Baah-Acheamfour, M.; Chang, S. X.; Carlyle, C. N.; Bork, E. W. 2015. Carbon pool size and stability are affected by trees and grassland cover types within agroforestry systems of western Canada. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 213, p. 105-113, doi: 10.1016/j.agee.2015.07.016.
- Baah-Acheamfour, M.; Carlyle, C. N.; Lim, S. S.; Bork, E. W.; Chang, S. X. 2016. Forest and grassland cover types reduce net greenhouse gas emissions from agricultural soils. *Science of the total Environment*, v. 571, p. 1115-1127, doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.07.106.
- Beauchemin, K. A.; Janzen, H. H.; Little, S. M.; McAllister, T. A.; McGinn, S. M. 2010. Life cycle assessment of greenhouse gas emissions from beef production in western Canada: A case study. *Agricultural Systems*, v. 103, n. 6, p. 371-379, doi: 10.1016/j.agsy.2010.03.008.
- Beauchemin, K. A.; Janzen, H. H.; Little, S. M.; McAllister, T. A.; McGinn, S. M. 2011. Mitigation of greenhouse gas emissions from beef production in western Canada—Evaluation using farm-based life cycle assessment. *Animal Feed Science and Technology*, v. 166, p. 663-677, doi: 10.1016/j.anifeedsci.2011.04.047.
- Beedy, T. L.; Snapp, S. S.; Akinnifesi, F. K.; Sileshi, G. W. 2010. Impact of *Gliricidia sepium* intercropping on soil organic matter fractions in a maize-based cropping system. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 138, n. 3-4, p. 139-146, doi: 10.1016/j.agee.2010.04.008.
- Buller, L. S.; Bergier, I.; Ortega, E.; Moraes, A.; Bayma-Silva, G.; Zanetti, M. R. 2014. Soil improvement and mitigation of greenhouse gas emissions for integrated crop–livestock systems: case study assessment in the Pantanal savanna highland, Brazil. *Agricultural systems*, v. 137, p. 206-219, doi: 10.1016/j.agsy.2014.11.004.
- Capper, J. L. 2012. Is the grass always greener? Comparing the environmental impact of conventional, natural and grass-fed beef production systems. *Animals*, v. 2, n. 2, p. 127-143, doi: 10.3390/ani2020127.
- Cárdenas, A.; Moliner, A.; Hontoria, C.; Ibrahim, M. 2018. Ecological structure and carbon storage in traditional silvopastoral systems in Nicaragua. *Agroforestry systems*, v. 93, n. 1, p. 229-239, doi: 10.1007/s10457-018-0234-6.
- Cardinael, R.; Guenet, B.; Chevallier, T.; Dupraz, C.; Cozzi, T.; Chenu, C. 2018. High organic inputs explain shallow and deep SOC storage in a long-term agroforestry system—combining experimental and modeling approaches. *Biogeosciences*, v. 15, p. 297–317, doi:10.5194/bg-15-297-2018.
- Cardoso, A. S.; Berndt, A.; Leytem, A.; Alves, B. J. R.; de Carvalho, I. D. N. O.; de Soares, L. H. B.; Urquiaga, S.; Boddey, R. M. 2016. Impact of the intensification of beef production in Brazil on greenhouse gas emissions and land use. *Agricultural Systems*, v. 143, p. 86-96, doi: 10.1016/j.agsy.2015.12.007.
- Carvalho, A. M.; de Oliveira, W. R. D.; Ramos, M. L. G.; Coser, T. R.; de Oliveira, A. D.; Pulrolnik, K.; Souza, K. W.; Vilela, L.; Marchão, R. L. 2017. Soil N₂O fluxes in integrated production systems, continuous pasture and Cerrado. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v. 108, n. 1, p. 69-83, doi: 10.1007/s10705-017-9823-4.
- Casals, P.; Romero, J.; Rusch, G. M.; Ibrahim, M. 2014. Soil organic C and nutrient contents under trees with different functional characteristics in seasonally dry tropical silvopastures. *Plant and soil*, v. 374, n. 1-2, p. 643-659, doi: 10.1007/s11104-013-1884-9.
- Cederberg, C.; Meyer, D.; Flysjö, A. 2009. Life cycle inventory of greenhouse gas emissions and use of land and energy in Brazilian beef production. *SIK Institutet för livsmedel och bioteknik*.
- Cederberg, C.; Persson, U. M.; Neovius, K.; Molander, S.; Clift, R. 2011. Including carbon emissions from deforestation in the carbon footprint of Brazilian beef. *Environmental Science & Technology*, v. 45, p. 1773–1779, doi: 10.1021/es103240z.

- Cerri, C. E. P.; Cerri, C. C.; Maia, S. M. F.; Cherubin, M. R.; Feigl, B. J.; Lal, R. 2018. Reducing Amazon deforestation through agricultural intensification in the Cerrado for advancing food security and mitigating climate change. *Sustainability*, v. 10, n. 4, p. 989, doi: 10.3390/su10040989.
- Cerri, C. C.; Moreira, C. S.; Alves, P. A.; Raucci, G. S.; Castigioni, B. A.; Mello, F. F. C.; Cerri, D. G. P.; Cerri, C. E. P. 2015. Assessing the carbon footprint of beef cattle in Brazil: a case study with 22 farms in the State of Mato Grosso. *Journal of Cleaner Production*, v. 112, p. 2593-2600, doi: 10.1016/j.jclepro.2015.10.072.
- Chatterjee, N.; Nair, P. R.; Chakraborty, S.; Nair, V. D. 2018. Changes in soil carbon stocks across the Forest-Agroforest-Agriculture/Pasture continuum in various agroecological regions: a meta-analysis. *Agriculture, ecosystems & environment*, v. 266, p. 55-67, doi: 10.1016/j.agee.2018.07.014.
- Cohn, A. S.; Mosnier, A.; Havlík, P.; Valin, H.; Herrero, M.; Schmid, E.; O'Hare, M.; Obersteiner, M. 2014. Cattle ranching intensification in Brazil can reduce global greenhouse gas emissions by sparing land from deforestation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 111, n. 20, p. 7236-7241, doi: 10.1073/pnas.1307163111.
- Cohn, A. S.; Gil, J.; Berger, T.; Pellegrina, H.; Toledo, C. 2016. Patterns and processes of pasture to crop conversion in Brazil: Evidence from Mato Grosso State. *Land Use Policy*, v. 55, p. 108-120, doi: 10.1016/j.landusepol.2016.03.005.
- Coser, T. R.; Figueiredo, C. C.; Jovanovica, B.; Moreira, T. N.; Leite, G. G.; Cabral Filho, S. L. S.; Katoa, E.; Malaquias, J. V.; Marchão, R. L. 2018. Short-term buildup of carbon from a low-productivity pastureland to an agrisilviculture system in the Brazilian savannah. *Agricultural Systems*, v. 166, p. 184-195, doi: 10.1016/j.agsy.2018.01.030.
- Crosson, P.; Shalloo, L.; O'Brien, D.; Lanigan, G. J.; Foley, P. A.; Boland, T. M.; Kenny, D. A. 2011. A review of whole farm systems models of greenhouse gas emissions from beef and dairy cattle production systems. *Animal Feed Science and Technology*, v. 166, p. 29-45, doi: 10.1016/j.anifeedsci.2011.04.001.
- De Stefano, A.; Jacobson, M. G. 2017. Soil carbon sequestration in agroforestry systems: a meta-analysis. *Agroforestry systems*, v. 92, n. 2, p. 285-299, doi: 10.1007/s10457-017-0147-9.
- De Vries, M. D.; Van Middelaar, C. E.; De Boer, I. J. M. 2015. Comparing environmental impacts of beef production systems: A review of life cycle assessments. *Livestock Science*, v. 178, p. 279-288, doi: 10.1016/j.livsci.2015.06.020.
- Desjardins, R. L.; Worth, D. E.; Vergé, X. P.; Maxime, D.; Dyer, J.; Cerkowniak, D. 2012. Carbon footprint of beef cattle. *Sustainability*, v. 4, n. 12, p. 3279-3301, doi: 10.3390/su4123279.
- Dick, M.; Silva, M. A.; Dewes, H. 2014. Mitigation of environmental impacts of beef cattle production in southern Brazil—Evaluation using farm-based life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*, v. 87, p. 58-67, doi: 10.1016/j.jclepro.2014.10.087.
- Dick, M.; Silva, M. A.; Dewes, H. 2015. Life cycle assessment of beef cattle production in two typical grassland systems of southern Brazil. *Journal of Cleaner Production*, v. 96, p. 426-434, doi: 10.1016/j.jclepro.2014.01.080.
- Don, A.; Schumacher, J.; Freibauer, A. 2011. Impact of tropical land-use change on soil organic carbon stocks—a meta-analysis. *Global Change Biology*, v. 17, n. 4, p. 1658-1670, doi: 10.1111/j.1365-2486.2010.02336.x.
- Dube, F.; Espinosa, M.; Stolpe, N. B.; Zagal, E.; Thevathasan, N. V.; Gordon, A. M. 2012. Productivity and carbon storage in silvopastoral systems with *Pinus ponderosa* and *Trifolium* spp., plantations and pasture on an Andisol in Patagonia, Chile. *Agroforestry systems*, v. 86, n. 2, p. 113-128, doi: 10.1007/s10457-011-9471-7.
- Feliciano, D.; Ledo, A.; Hillier, J.; Nayak, D. R. 2018. Which agroforestry options give the greatest soil and above ground carbon benefits in different world regions?. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 254, p. 117-129, doi: 10.1016/j.agee.2017.11.032.
- Figueiredo, E. B.; Jayasundara, S.; Bordonal, R. O.; Berchielli, T. T.; Reis, R. A.; Wagner-Riddle, C.; La Scala Junior, N. 2016. Greenhouse gas balance and carbon footprint of beef cattle in three contrasting

- pasture-management systems in Brazil. *Journal of cleaner production*, v. 142, p. 420-431, doi: 10.1016/j.jclepro.2016.03.132.
- Franzluebbers, A. J.; Chappell, J. C.; Shi, W.; Cubbage, F. W. 2016. Greenhouse gas emissions in an agroforestry system of the southeastern USA. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v. 108, n. 1, p. 85-100, doi: 10.1007/s10705-016-9809-7.
- Haile, S. G.; Nair, V. D.; Nair, P. R. 2010. Contribution of trees to carbon storage in soils of silvopastoral systems in Florida, USA. *Global Change Biology*, v. 16, n. 1, p. 427-438, doi: 10.1111/j.1365-2486.2009.01981.x.
- Howlett, D. S.; Mosquera-Losada, M. R.; Nair, P. K.; Nair, V. D.; Rigueiro-Rodríguez, A. 2011. Soil carbon storage in silvopastoral systems and a treeless pasture in northwestern Spain. *Journal of environmental quality*, v. 40, n. 3, p. 825-832, doi: 10.2134/jeq2010.0145.
- Kamali, F. P.V.; Van Der Linden, A.; Meuwissen, M. P.; Malafaia, G. C.; Lansink, A. G. O.; Boer, I. J. 2016. Environmental and economic performance of beef farming systems with different feeding strategies in southern Brazil. *Agricultural Systems*, v. 146, p. 70-79, doi:10.1016/j.agry.2016.04.003.
- Lorenz, K.; Lal, R. 2014. Soil organic carbon sequestration in agroforestry systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, v. 34, n. 2, p. 443-454, doi: 10.1007/s13593-014-0212-y.
- Martha Junior, G. B.; Alves, E.; Contini, E. 2012. Land-saving approaches and beef production growth in Brazil. *Agricultural Systems*, v. 110, p. 173-177, doi: 10.1016/j.agry.2012.03.001.
- Mazzetto, A. M.; Feigl, B. J.; Schils, R. L.; Cerri, C. E. P.; Cerri, C. C. 2015. Improved pasture and herd management to reduce greenhouse gas emissions from a Brazilian beef production system. *Livestock Science*, v. 175, p. 101-112, doi: 10.1016/j.livsci.2015.02.014.
- McGroddy, M. E.; Lerner, A. M.; Burbano, D. V.; Schneider, L. C.; Rudel, T. K. 2015. Carbon stocks in silvopastoral systems: a study from four communities in southeastern Ecuador. *Biotropica*, v. 47, n. 4, p. 407-415, doi: 10.1111/btp.12225.
- Muller, M. D.; Fernandes, E. N.; Castro, C. R. T.; Paciullo, D. S. C.; Alves, F. F. 2009. Estimativa de acúmulo de biomassa e carbono em sistema agrossilvipastoril na Zona da Mata Mineira. *Pesquisa Florestal Brasileira*, n. 60, p. 11, doi: 10.4336/2009.pfb.60.11.
- Nair, P. R.; Nair, V. D.; Kumar, B. M.; Haile, S. G. 2009A. Soil carbon sequestration in tropical agroforestry systems: a feasibility appraisal. *Environmental Science & Policy*, v. 12, n. 8, p. 1099-1111, doi: 10.1016/j.envsci.2009.01.010.
- Nair, P. K. R.; Kumar, B. M.; Nair, V. D. 2009B. Agroforestry as a strategy for carbon sequestration. *Journal of plant nutrition and soil science*, v. 172, n. 1, p. 10-23, doi: 10.1002/jpln.200800030.
- Nascimento, D. M.; Cavaliere-Polizeli, K. M. V.; Silva, A. H.; Favaretto, N.; Parron, L. M. 2019. Soil physical quality under long-term integrated agricultural production systems. *Soil and Tillage Research*, v. 186, p. 292-299, doi: 10.1016/j.still.2018.08.016.
- Oliveira, A. D. D.; Ribeiro, F. P.; Ferreira, E. A. B.; Malaquias, J. V.; Gatto, A.; Zuim, D. R.; Pinheiro, L. A.; Pulrolnik, K.; Soares, J. P. G.; Carvalho, A. M. D. 2020. CH₄ and N₂O fluxes from planted forests and native Cerrado ecosystems in Brazil. *Scientia Agricola*, v. 78, n. 1, doi: 10.1590/1678-992X-2018-0355.
- Oliveira, M. O.; Madari, B. E.; Carvalho, M. T. M.; Assis, P. C. R.; Silveira, A. L. R.; Lima, M. L.; Wruck, F. J.; Medeiros, J. C.; Machado, P. L. O. A. 2017. Integrated farming systems for improving soil carbon balance in the southern Amazon of Brazil. *Regional environmental change*, v. 18, n. 1, p. 105-116, doi: 10.1007/s10113-017-1146-0.
- Palermo, G. C.; Avignon, A. L. A.; Freitas, M. A. V. 2014. Reduction of emissions from Brazilian cattle raising and the generation of energy: Intensification and confinement potentials. *Energy Policy*, v. 68, p. 28-38, doi: 10.1016/j.enpol.2014.01.041.
- Ruviaro, C. F.; Gianezini, M.; Brandão, F. S.; Winck, C. A.; Dewes, H. 2012. Life cycle assessment in Brazilian agriculture facing worldwide trends. *Journal of Cleaner Production*, v. 28, p. 9-24, doi: 10.1016/j.jclepro.2011.10.015.

- Ruviaro, C. F.; Léis, C. M.; Lampert, V. D. N.; Barcellos, J. O. J.; Dewes, H. 2014. Carbon footprint in different beef production systems on a southern Brazilian farm: a case study. *Journal of Cleaner Production*, v. 96, p. 435-443, doi: 10.1016/j.jclepro.2014.01.037.
- Sá, J. C. M.; Lal, R.; Cerri, C. C.; Lorenz, K.; Hungria, M.; Carvalho, P. C. F. 2016. Low-carbon agriculture in South America to mitigate global climate change and advance food security. *Environment international*, v. 98, p. 102-112, doi: 10.1016/j.envint.2016.10.020.
- Salton, J.C. Matéria orgânica e agregação do solo na rotação lavoura-pastagem em ambiente tropical. 158p. 2005. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Schoeneberger, M. M. 2009. Agroforestry: working trees for sequestering carbon on agricultural lands. *Agroforestry systems*, v. 75, n. 1, p. 27-37, doi: 10.1007/s10457-008-9123-8.
- Silva, G. L.; Lima, H. V.; Campanha, M. M.; Gilkes, R. J; Oliveira, T. S. 2011. Soil physical quality of Luvisols under agroforestry, natural vegetation and conventional crop management systems in the Brazilian semi-arid region. *Geoderma*, v. 167, p. 61-70, doi: 10.1016/j.geoderma.2011.09.009.
- Silva, R. O; Barioni, L. G.; Hall, J. A. J.; Matsuura, M. F.; Albertini, T. Z.; Fernandes, F. A.; Moran, D. 2016. Increasing beef production could lower greenhouse gas emissions in Brazil if decoupled from deforestation. *Nature Climate Change*, v. 6, n. 5, p. 493-497, doi: 10.1038/NCLIMATE2916.
- Silveira, M. L.; Xu, S.; Adewopo, J.; Franzluebbers, A. J.; Buonadio, G. 2014. Grazing land intensification effects on soil C dynamics in aggregate size fractions of a Spodosol. *Geoderma*, v. 230, p. 185-193, doi: 10.1016/j.geoderma.2014.04.012.
- Soto-Pinto, L.; Anzueto, M.; Mendoza, J.; Ferrer, G. J.; Jong, B. 2010. Carbon sequestration through agroforestry in indigenous communities of Chiapas, Mexico. *Agroforestry Systems*, v. 78, n. 1, p. 39, doi: 10.1007/s10457-009-9247-5.
- Stanley, P. L.; Rowntree, J. E.; Beede, D. K.; DeLonge, M. S.; Hamm, M. W. 2018. Impacts of soil carbon sequestration on life cycle greenhouse gas emissions in Midwestern USA beef finishing systems. *Agricultural Systems*, v. 162, p. 249-258, doi: 10.1016/j.agsy.2018.02.003.
- Strassburg, B. B.; Latawiec, A. E.; Barioni, L. G.; Nobre, C. A.; Da Silva, V. P.; Valentim, J. F.; Vianna, M.; Assad, E. D. 2014. When enough should be enough: Improving the use of current agricultural lands could meet production demands and spare natural habitats in Brazil. *Global Environmental Change*, v. 28, p. 84-97, doi: 10.1016/j.gloenvcha.2014.06.001.
- Tonucci, R. G.; Nair, P. K.; Nair, V. D.; Garcia, R.; Bernardino, F. S. 2011. Soil carbon storage in silvopasture and related land-use systems in the Brazilian Cerrado. *Journal of environmental quality*, v. 40, n. 3, p. 833-841, doi: 10.2134/jeq2010.0162.
- Torres, C. M. M. E.; Jacovine, L. A. G.; de Olivera Neto, S. N.; Fraisse, C. W.; Soares, C. P. B.; de Castro Neto, F.; Ferreira, L. R.; Zanuncio, J. C.; Lemes, P. G. 2017. Greenhouse gas emissions and carbon sequestration by agroforestry systems in southeastern Brazil. *Scientific reports*, v. 7, n. 1, p. 1-7, doi:10.1038/s41598-017-16821-4.
- Upton, M. A.; Burgess, P. J.; Morison, J. I. L. 2016. Soil carbon changes after establishing woodland and agroforestry trees in a grazed pasture. *Geoderma*, v. 283, p. 10-20, doi: 10.1016/j.geoderma.2016.07.002.
- Vicente, L. C.; Gama-Rodrigues, E. F.; Gama-Rodrigues, A. C. 2016. Soil carbon stocks of Ultisols under different land use in the Atlantic rainforest zone of Brazil. *Geoderma Regional*, v. 7, n. 3, p. 330-337, doi: 10.1016/j.geodrs.2016.06.003.
- Wotherspoon, A.; Thevathasan, N. V.; Gordon, A. M.; Voroney, R. P. 2014. Carbon sequestration potential of five tree species in a 25-year-old temperate tree-based intercropping system in southern Ontario, Canada. *Agroforestry systems*, v. 88, n. 4, p. 631-643, doi: 10.1007/s10457-014-9719-0.
- Xu, S.; Silveira, M. L.; Inglett, K. S.; Sollenberger, L. E.; Gerber, S. 2016. Effect of land-use conversion on ecosystem C stock and distribution in subtropical grazing lands. *Plant and soil*, v. 399, n. 1-2, p. 233-245, doi: 10.1007/s11104-015-2690-3.

Zomer, R. J.; Neufeldt, H.; Xu, J.; Ahrends, A.; Bossio, D.; Trabucco, A.; Van Noordwijk, M.; Wang, M. 2016. Global Tree Cover and Biomass Carbon on Agricultural Land: The contribution of agroforestry to global and national carbon budgets. *Scientific reports*, v. 6, n. 1, p. 1-12, doi: 10.1038/srep29987.

CAPÍTULO 15

COMO REALIZAR A ANÁLISE ECONÔMICA DE SISTEMAS INTEGRADOS

*Guilherme Lobato Menezes; Diogo Gonzaga Jayme; Alan Figueiredo de Oliveira;
Lúcio Carlos Gonçalves; Matheus Anchieta Ramirez; Pamella Grossi de Sousa;
Frederico Patrus Ananias de Assis Pires; Rafael Araújo de Menezes*

RESUMO

As propriedades, ao longo dos anos, especializaram-se com foco exclusivo na utilização de tecnológicas para aumento da produção. Entretanto, esse modelo pautado no produtivismo e no monocultivo causou muitos problemas principalmente nas pequenas propriedades, devido ao maior risco produtivo e econômico. Os sistemas integrados podem diminuir os riscos econômicos, gerando vantagens aos produtores por meio da economia de escopo. Os riscos de ineficiência produtiva também são menores. Entretanto, nesses sistemas os retornos não são rápidos e necessitam de maior capital para investimento. Portanto, é importante realizar a avaliação dos custos produtivos, dos indicadores econômicos do projeto e a projeção de viabilidade através dos indicadores, como: taxa interna de retorno (TIR), valor presente líquido (VPL) e tempo de retorno do capital investido (*payback*). Esses indicadores permitem ao produtor comparar o empreendimento entre as atividades produtivas e as outras aplicações financeiras para tomar a melhor decisão.

INTRODUÇÃO

A busca por sistemas produtivos sustentáveis é uma demanda nos tempos modernos. Alinhar produção sustentável e eficiência econômica é um desafio que exige conhecimento técnico e gerencial. Pesquisas realizadas pelo Sebrae-SP, em 2010, apontam que 27% das empresas de pequeno porte abertas não ultrapassam o primeiro ano e 58% não ultrapassam os cinco anos. Apesar dos diferentes setores, uma das principais causas de apontamento do insucesso são falhas de capital e planejamento.

Como reflexo da Revolução Verde no século XX, o desenvolvimento tecnológico priorizou a especialização agrícola como meio para aumentar a produção e otimizar o uso da terra. Como consequência, houve uma especialização em sistemas produtivos e uma tendência de separar a produção animal e a vegetal. Os sistemas de integração permitem maior diversificação da produção e utilização dos recursos naturais. Se utilizados de

forma estratégica, podem gerar benefícios financeiros por meio da economia de escopo (diminuição dos custos a partir da produção de múltiplos produtos) (Gameiro *et al.*, 2016).

Esses sistemas muitas vezes demandam maior quantidade de capital, que podem não retornar em curto prazo. A definição do sistema produtivo deve levar em consideração questões mercadológicas locais, logísticas e características da propriedade. Após levantar todas essas demandas, devem ser analisados os indicadores de viabilidade, rentabilidade e lucratividade do negócio para definir qual sistema possibilita melhores margens e/ou menor risco. Segundo Pacheco *et al.* (2013), os sistemas de pecuária e silvicultura devem ser eficientes no âmbito técnico, econômico, social, ambiental e devem respeitar a diversificação.

Durante o processo de implementação do sistema produtivo, é necessário avaliar todos os desafios, pontos fortes, fracos, oportunidades e ameaças. Um ponto importante na implementação é a análise financeira e a demanda do capital de giro para realizar as operações produtivas. Muitos projetos falham ou têm sua margem reduzida por não conhecerem seus custos. Para isso, são comumente aplicados a definição de custos fixos, variáveis, custos operacionais efetivos (COE), custos operacionais totais (COT) e custo total (CT). Conhecendo-se os custos produtivos, o próximo passo é projetar o fluxo de caixa (Matsunaga *et al.*, 1976).

A projeção do fluxo de caixa no início do projeto é necessária para posterior análise dos indicadores de viabilidade econômica. Também possibilita a visualização da demanda do capital de giro do projeto. Esse é calculado a partir da diferença entre o ativo circulante (dinheiro disponível em curto prazo) e o passivo circulante (obrigações a pagar em curto prazo). Para determinar a viabilidade econômica do projeto, os indicadores mais utilizados são: taxa interna de retorno (TIR), valor presente líquido (VLP) e tempo de retorno do capital investido (*payback*) do projeto (Buarque, 1984). Objetivou-se com este capítulo demonstrar as metodologias para calcular o custo de produção e a viabilidade econômica na implementação de projetos integrados.

ECONOMIA DE ESCOPO

Os conceitos de otimização de custos são dinâmicos nas empresas; em geral, podem ser feitos com aumento de escala ou escopo. A economia de escopo surge de uma demanda do aumento da economia de custos que não resulta do aumento da escala. Esse modelo de negócio é o mais utilizado nas empresas de múltiplos produtos e não é a exceção na economia do país (Panzar, 1981).

Nos sistemas integrados, a economia não ocorre pelo aumento no volume de produção de *commodities*, e sim pela diversificação e otimização dos custos produtivos, por meio da melhor utilização do solo, das máquinas e da mão de obra. A diluição dos custos fixos ocorre devido ao aumento da produtividade por área (Clark, 1923; Clemens, 1951). Nos sistemas integrados, os preços de venda dos produtos apresentam baixa correlação entre si. Isso permite diversificar as fontes de receitas e diminuir os riscos (Gameiro *et al.*, 2016; Lazzarotto *et al.*, 2009). Poffenbarger *et al.* (2017) relataram falta de correlação (0,37 e 0,35) entre os preços das safras (milho e soja) e os índices de preços do gado em Iowa. Isso indica que os preços baixos na atividade agrícola não são acompanhados do baixo preço na atividade pecuária. Além disso, os animais podem diminuir os riscos da ineficiência produtiva da propriedade em casos de intempéries climáticas que inviabilizem a colheita.

A diversificação das operações pode reduzir a variabilidade dos lucros entre os anos em casos de preços de produtos pouco correlacionados (Bowman e Zilberman, 2013). Entretanto, deve-se ter atenção ao momento de dimensionar a infraestrutura e alocar o capital em custos fixos. Algumas infraestruturas, como sistemas de ordenha, currais de manejo, vagões forrageiros, máquinas e implementos agrícolas, podem ser subutilizados com o maior fracionamento do sistema, e o benefício da economia de escopo pode ser perdido. Leathers (1992) questionou a contribuição efetiva das economias de escopo por muitas vezes não diluírem realmente os custos fixos.

A integração entre os sistemas produtivos permite a utilização de parte dos produtos no beneficiamento interno da propriedade. Isso reduz os custos de transação que, segundo Teece (1982), é uma das formas de economia de escopo. Esse fenômeno foi observado por Gameiro *et al.* (2016), por meio da redução dos custos de logística, utilizando-se a integração e reforçando-se a possibilidade de ganhos econômicos mediante a diversificação.

RECEITA BRUTA

Antes de abordar os custos, é necessário falar das fontes de receita. A receita total (RT) é obtida a partir da multiplicação do preço unitário de venda pela quantidade produzida e vendida (Pascoaloto *et al.*, 2017). Em sistemas integrados, as fontes de receita podem vir da produção de leite, carne, grãos, madeira, entre outras fontes que, multiplicadas pela quantidade produzida, geram a receita total.

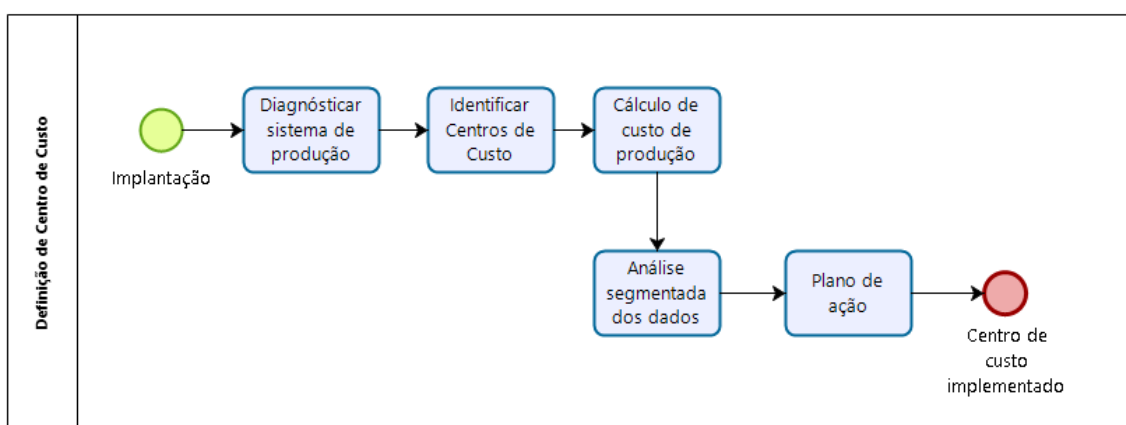
Nos sistemas produtivos, as fontes de receita podem ser calculadas separadamente lavoura, pecuária e silvicultura, por atividade ou conjuntas, quando o objetivo é avaliar o resultado geral do sistema.

CENTROS DE CUSTO

Muitas propriedades negligenciam os custos produtivos ou gerenciam de forma empírica. O conhecimento dos custos é fundamental para tomadas de decisões assertivas (Oaigen *et al.*, 2008). Avaliar apenas o fluxo de caixa mensal nas propriedades dificulta a tomada de decisão. Em sistemas integrados, a diversidade de produtos no mesmo sistema pode dificultar o gerenciamento das cadeias produtivas (carne, leite, silvicultura e grãos), aqui denominadas centros de custo. A escolha da metodologia dos centros de custos é utilizada pela fácil aplicação e permite avaliar as diferentes unidades produtivas do empreendimento (Oaigen *et al.*, 2008).

Antes de realizar a implementação, é necessário realizar o diagnóstico do sistema produtivo e identificar os centros de custo. Após a identificação, é preciso calcular o custo de produção conforme a demanda e a maturidade gerencial da propriedade. Após o agrupamento dos dados e a análise, os centros de custo podem ser implementados (Figura 1).

Figura 1. Representação esquemática do processo de definição e de implementação dos centros de custo em uma propriedade



Fonte: Adaptado de Oaigen *et al.* (2008).

ESTRUTURA DO CUSTO DE PRODUÇÃO

A participação no mercado de *comodity* impossibilita o produtor definir o preço do seu produto. Nesse cenário, são necessários esforços a fim de aumentar a eficiência produtiva da porteira para dentro (Martin *et al.*, 1998). Atualmente, existe uma grande

variação de metodologias para análise dos custos produtivos. Isso causa desuniformidade das informações, dos indicadores gerados e dificulta a comparação de diferentes sistemas de produção (Oaigen *et al.*, 2008).

Em 1972, o Instituto de Economia Agrícola (IEA) propôs uma metodologia para mensuração dos custos produtivos, chamada custo operacional, a qual teve como premissa básica a facilidade de mensuração e a isenção de subjetividade. O custo de produção é a soma dos valores necessários para produzir um bem. Nesse processo, são considerados todos os custos diretos, indiretos e a remuneração sobre os fatores utilizados para produção: terra, capital e empresário (Matsunaga *et al.*, 1976).

Os custos de produção são classificados como despesa direta, indireta e remuneração do capital investido. As despesas diretas são aquelas alocadas diretamente no produto (lavoura, pecuária, floresta e outros), como insumos, adubos, mão de obra, hora máquina, sementes e mudas. Os custos indiretos são aqueles que não estão diretamente ligados ao produto, como manutenção e depreciação. Esses custos participam da composição de vários produtos ao longo do ciclo operacional. Já a remuneração sobre o capital investido é um valor considerado como custo de oportunidade por investir capital aplicado em terras, maquinários, capital de giro, demais benfeitorias no negócio, e não em outras aplicações financeiras (Matsunaga *et al.*, 1976).

Os custos podem também ser classificados como fixos e variáveis (Marshall, 1890). Este autor descreveu os custos fixos como custos que não podem ser evitados se a empresa quiser operar. Já os custos variáveis foram descritos como aqueles que variam com o nível da produção. O conceito de Marshall de custos fixos e variáveis corresponde aproximadamente aos conceitos de custos indiretos e custos operacionais usados na literatura de contabilidade e gestão empresarial.

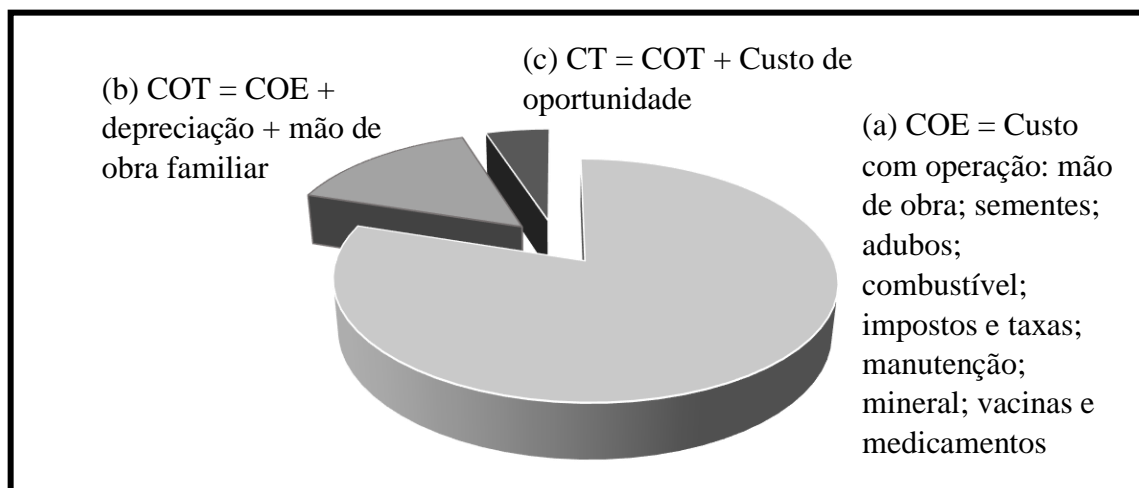
O custo operacional efetivo (COE) é composto pelos custos relacionados às atividades produtivas no ciclo, também chamado ano safra. Este inclui os custos diretos, por exemplo: medicamentos, suplementos minerais, concentrados, máquinas, forragens perenes utilizadas no ano, entre outros. No caso de uso de máquinas, os custos são determinados por meio dos valores de hora-máquina, e, no caso de volumoso ou concentrado estocado, esse só passa a ser custo quando é utilizado pelos animais. Segundo Matsunaga *et al.* (1976), esses custos vão determinar a permanência do produtor na atividade em curto prazo. Martha Júnior *et al.* (2011) demonstraram os efeitos sinérgicos da integração lavoura-pecuária na redução dos custos operacionais efetivos, a partir da redução da utilização de fertilizantes, e na ocorrência de doenças na cultura da soja.

O custo operacional total (COT) é representado pela soma dos custos diretos (ou variáveis) e indiretos (ou fixos), Exemplo: materiais, insumos, mão de obra, depreciação, juros de custeio e mão de obra familiar. Essa metodologia surge da dificuldade em se atribuir remuneração da terra e do capital e pró-labore do empresário (Lopes e Carvalho, 2000). O levantamento de custos é um método para avaliação do desempenho econômico e técnico da propriedade (Simões *et al.*, 2007). Os ciclos produtivos longos incorporam maior depreciação e podem aumentar o custo operacional. Nesse contexto, sistemas extensivos podem apresentar menor custo operacional efetivo, entretanto apresentam maior custo operacional total em razão da menor diluição da depreciação (Famato, 2012).

Os métodos para se calcular o valor da depreciação têm se demonstrado confusos. A origem da palavra significa redução de preço ou de valor (Hendriksen e Van Breda, 1999). Um dos métodos mais utilizados para o cálculo da depreciação é o método linear, por sua simplicidade e facilidade de compreensão. É calculado considerando-se que do valor inicial do equipamento subtrai-se o valor residual, que é dividido pelo tempo de vida útil (Stickney e Weil, 2001). O valor obtido é utilizado para o cálculo do custo operacional total.

O custo total (CT) é calculado a partir da somatória do custo operacional total, da remuneração da terra e do capital (Oaigen *et al.*, 2008). A remuneração da terra e do capital também é conhecida como custo de oportunidade. Esse valor representa o retorno que o capital investido estaria proporcionando se fosse aplicado em outra atividade de menor risco, como uma caderneta de poupança. Para esse cálculo, é mais comum a utilização da taxa Selic ou o valor de arrendamento da terra (Barbosa e Souza, 2007). Na Figura 2, está demonstrado esquematicamente o COE, o COT e o CT.

Figura 2. Representação esquemática da composição dos custos produtivos em uma propriedade rural



- (a) Cálculo do custo operacional efetivo (COE);
(b) cálculo do custo operacional total (COT);
(c) cálculo do custo total (CT).

Fonte: Adaptado de Matsunaga *et al.* (1976).

MARGENS DO NEGÓCIO

A margem bruta é o valor obtido da subtração da receita bruta pelo custo operacional efetivo (Sangoi *et al.*, 2006). A margem bruta positiva não garante a sobrevivência do negócio em médio e longo prazo, mas garante que, no curto prazo, o negócio sobreviva com caixa positivo. A margem líquida é obtida após a subtração da receita bruta pelos custos diretos e indiretos. A margem líquida, quando positiva, garante a sobrevivência da empresa em médio e longo prazo. Entretanto, se esta for muito pequena, o proprietário pode decidir por sair da atividade pelo custo de oportunidade ao investir em outro negócio. O lucro total é calculado pela diferença entre a receita total e o custo total. Esse indicador representa a somatória dos custos diretos, indiretos e o custo de oportunidade calculado utilizando-se a taxa mínima de atratividade (menor percentual de retorno que um investidor espera receber por investir em um empreendimento) (Lazzarotto *et al.*, 2009).

Resultados históricos obtidos no Paraná avaliaram a volatilidade (intensidade de variação dos retornos econômicos em sistemas tecnificados de bovinocultura de corte, integração lavoura-pecuária e sistemas especializados na produção de grãos). O estudo demonstrou menor retorno esperado e menor volatilidade no sistema de bovinocultura de corte. Os sistemas especializados na produção de grãos apresentam maiores oscilações

econômicas. Isso significa maiores retornos em alguns períodos, acompanhados de maiores quedas em outros. A inclusão da atividade pecuária nos sistemas agrícolas reduziu a volatilidade e resultou em valores intermediários entre as atividades de sistemas especializados na produção de grãos e na bovinocultura de corte. A menor volatilidade e os retornos semelhantes aos sistemas especializados na produção de grãos (10,4 e 10,5%) tornam a atividade de integração lavoura-pecuária uma boa opção para reduzir os riscos de perdas econômicas (Lazzarotto *et al.*, 2009).

LUCRATIVIDADE E RENTABILIDADE

A rentabilidade e a lucratividade são indicadores muito utilizados em sistemas produtivos. A lucratividade é um valor percentual que representa o lucro obtido na atividade. Esta é relacionada diretamente com os custos produtivos. Quanto menor os custos operacionais, maior são as margens líquidas e maior a lucratividade. Já a rentabilidade demonstra a capacidade de lucro diante do capital imobilizado no negócio. Unidades de negócio mais enxutas podem apresentar maior rentabilidade por apresentarem custos mais baixos (Madalena, 2001). Segundo Doege e Lakoski. (2012), a divisão do lucro líquido pelo ativo total é o melhor indicador para expressar a lucratividade do projeto.

Segundo Lopes *et al.* (2011), os indicadores de lucratividade e rentabilidade podem ser calculados conforme as fórmulas descritas abaixo:

lucratividade (%) = margem líquida / receita total,

rentabilidade (%) = margem líquida / (total imobilizado + custo operacional efetivo).

ANÁLISE DOS CUSTOS

Após a apuração dos custos, esses devem ser comparados com as fontes de receita. A Tabela 1 demonstra a situação e a tendência de propriedades rurais quando comparada a receita total com o custo operacional efetivo, o custo operacional total e o custo total.

Tabela 1. Interpretações das análises econômicas

A receita é:	Situação	Tendência
$RT < COE$	Colapso	Não recuperação
$COE < RT < COT$	Caixa positivo	Sucateamento de bens
$COT < RT < CT$	Lucro operacional	Permanência
$RT = CT$	Lucro normal	Crescimento
$RT > CT$	Lucro econômico	Alto crescimento

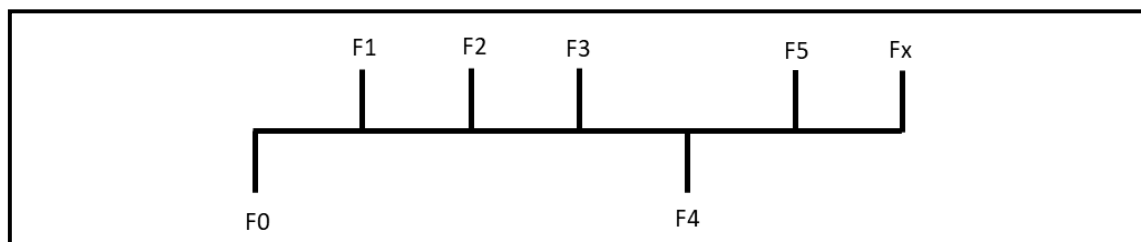
RT = receita total; COE = custo operacional efetivo; COT = custo operacional total; CT = custo total.

Fonte: Adaptado de Barbosa e Souza (2007).

FLUXO DE CAIXA

O fluxo de caixa é composto por um tempo zero representado pelo investimento inicial (F_0) e, ao longo dos anos ou meses sucessivos, pela diferença entre as entradas e as saídas de dinheiro no caixa (F_1, F_2, \dots, F_x) (Figura 3) (Contador, 1981). Na Figura 3, é mostrado esquematicamente um fluxo de caixa em que os fluxos positivos estão representados com seta para cima, e os negativos com seta para baixo. Este consiste na soma das entradas menos as despesas (saídas de caixa) efetuadas durante o ciclo da atividade. O resultado do fluxo de caixa demonstra o saldo disponível para cobrir demais riscos, o retorno ao capital e a capacidade empresarial.

Figura 3. Representação esquemática de um fluxo de caixa de seis meses



F_0 = investimento inicial; F_1 = fluxo de caixa mês 1; F_2 = fluxo de caixa mês 2; F_3 = fluxo de caixa mês 3; F_4 = fluxo de caixa mês 4; F_5 = fluxo de caixa mês 5; F_6 = fluxo de caixa mês 6.

Fonte: Dados pessoais.

O fluxo de caixa é utilizado para realizar a viabilidade econômica do projeto. A partir da sua projeção, é possível calcular a taxa interna de retorno, o valor presente líquido e o tempo de retorno do capital investido. Para avaliação da viabilidade econômica, é necessário trazer para o presente valores projetados no futuro (*present value*), utilizando-se uma taxa mínima de atratividade (TMA) (Souza e Clemente, 2004). Não há um consenso sobre o valor dessa taxa. Segundo Souza e Clemente (2012), a TMA

deve ser a melhor taxa, com maior rentabilidade, alta liquidez e baixo nível de risco para investimento do capital.

TAXA INTERNA DE RETORNO

A taxa interna de retorno representa o retorno sobre o capital investido. Em um projeto, deve ser maior ou igual à taxa mínima de atratividade, que é o menor retorno que um investidor espera receber por aportar seu dinheiro em uma atividade. Segundo Lazzarotto *et al.* (2010), produtores rurais, em geral, utilizam, para implementação dos projetos, capitais próprios e/ou de terceiros. Por isso, para determinação da taxa mínima de atratividade, pode ser estabelecida a média da taxa Selic e a taxa de juros média cobrada por agências financiadoras, capitais próprios e de terceiros. Essa taxa é implícita no fluxo de caixa e tem função de descontar um valor futuro e trazer para o presente (valor presente). Para aceitação de um projeto, uma premissa básica é taxa interna de retorno \geq taxa mínima de atratividade (Gitman, 2002). O projeto que apresentar maior taxa interna de retorno apresentará melhor resultado do ponto de vista econômico (Contador, 1988). A taxa interna de retorno pode ser calculada manualmente, conforme descrito abaixo.

Figura 4. Fórmula de cálculo para obtenção da taxa interna de retorno:

$$\sum_{t=0}^n \frac{FC_t}{(1 + TIR)^t} = 0$$

em que: FC_t = investimento inicial, a entrada de capital; t = cada período; Σ : somatório dos fluxos de todos os períodos; TIR = taxa interna de retorno; t = períodos.

Os sistemas de integração, como ILP, muitas vezes não apresentam taxa interna de retorno atrativa quando comparados a sistemas especializados, como a soja. Isso ocorre devido à maior demanda por capital de investimento na compra de animais para recria e engorda. Talvez seja essa a principal restrição à implementação dos sistemas mistos, e a principal atratividade econômica é a redução dos riscos oriundos da diversificação (Martha Júnior *et al.*, 2011).

VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL)

Um investimento é a aplicação de recursos em um determinado tempo, a fim de maximizar lucros. Um empreendedor decide investir no negócio quando a capacidade de gerar um resultado futuro com risco supera o valor presente sem riscos. O objetivo de

qualquer empresa é aumentar seu valor por meio da atividade produtiva. As decisões devem ser baseadas em indicadores decisórios que considerem o valor do dinheiro no tempo. O valor presente líquido mede a capacidade de gerar riqueza do negócio ao longo do tempo utilizando-se uma taxa de desconto definida. Essa taxa de desconto é denominada como taxa mínima de atratividade. O princípio dessa análise é o custo do dinheiro no tempo, eliminando-se os efeitos dos juros e da inflação que ocorrem ao longo dos anos no projeto (Gitman, 2002).

A taxa mínima de atratividade pode inviabilizar a implantação de projetos. Dos Reis *et al.* (2019) realizaram uma simulação com diferentes taxas de juros e calcularam os indicadores de viabilidade econômica em sistemas de lavoura contínua, pecuária contínua e integração lavoura-pecuária na região de Mato Grosso, de 2005 a 2012. Ao utilizar a taxa Selic (19,24%) como taxa mínima de atratividade, o valor presente líquido em dólares americanos por hectare (ha) foi igual a -89,98, -45,18 e 393,73, respectivamente. Nesse caso, apenas o sistema integrado foi viável economicamente em todos os sistemas. Considerando a taxa mínima de atratividade igual a 5,5% obtida a partir do plano ABC, todos os sistemas são viáveis economicamente, e o valor presente líquido em dólares americanos igual a 124,33, 31,52 e 776,62 por ha. As taxas interinas de retorno nesses sistemas supracitados foram 11,31, 10,01 e 22,15%, respectivamente.

Uma premissa para um projeto ser aceito é o valor presente líquido maior ou igual a 0. Quando o valor presente líquido é igual a 0, a taxa interna de retorno é igual à taxa mínima de atratividade, demonstrando que o retorno do investimento atende a expectativa mínima do investidor. Quando o valor presente líquido é maior do que 0, isso indica que o retorno do capital investido é superior à expectativa mínima do cliente, aumentando o valor do capital e a riqueza do empreendedor. Portanto, se o valor presente líquido for menor que 0, o investimento não deve ser realizado (Kassai *et al.*, 2000; Hoji, 2006).

Dos Reis *et al.* (2019) avaliaram a viabilidade econômica entre três sistemas: ILP (soja / milho e bovinos de corte); cultivo contínuo (soja / milho); bovinos de corte tradicional em sistema extensivo. O investimento inicial nos sistemas foi: 765,63; 863,38 e 173,73 dólares americanos por ha. A produtividade média em kg de carne na fazenda com integração foi 5,24 vezes maior (331,71 x 63,3 kg/ha) devido à disponibilidade de pastagens em quantidade e qualidade. A produtividade da soja também foi 16% maior, e o custo 62% menor, em comparação ao sistema tradicional. O fluxo de caixa dos sistemas integrados possui maior custo de investimento. Em todos os indicadores econômicos, o sistema de integração apresentou melhor desempenho do que fazendas sobre cultivo e

pastejo contínuo. O tempo de retorno do capital investido (*payback*) de quatro anos no sistema integrado foi menor que no cultivo da lavoura (seis anos) e na criação de bovinos (cinco anos). A TIR foi 2,08 vezes maior nos sistemas integrados em relação ao valor médio dos outros sistemas (22,16; 10,67%). O valor presente líquido foi positivo nos três sistemas, indicando viabilidade econômica em todos eles.

Müller *et al.* (2011), em estudo de longa duração realizado na Embrapa Gado de Leite, avaliaram a viabilidade econômica da implantação de um sistema de ILPF que utilizava bovinos de corte em área de topografia montanhosa e diferentes alternativas para comercialização de madeira. As fontes de receita foram compostas pelas seguintes alternativas: 1: venda de madeira sem corte, 2: venda da madeira empilhada na estrada e 3: venda da madeira colocada no pátio do consumidor. Todas as alternativas foram viáveis economicamente quando aplicada a taxa de desconto igual a 6%. O sistema apresentou pouca sensibilidade a variações nos preços dos produtos e a aumento do custo. O preço da carne pode sofrer queda de 25, 33 e 39% nas situações um, dois e três para tornar o sistema inviável. O preço da madeira suporta uma queda ainda maior, ou seja, a queda nas três situações deveria ser de 56, 57 e 59%, respectivamente, para que o sistema se torne inviável. Considerando-se a taxa mínima de atratividade de 6, 8, 10 e 12%, apenas no sistema com 12% os projetos foram inviáveis economicamente. Os sistemas um, dois e três geraram taxa interna de retorno igual a 10, 11 e 11,65%, respectivamente.

Oliveira Junior *et al.* (2016) realizaram uma análise econômico-financeira em dois sistemas, integração lavoura-pecuária e integração lavoura-pecuária-floresta, para produção de novilhas leiteiras na região Norte do estado de Mato Grosso, durante cinco anos. Para o cálculo do valor presente líquido, aplicou-se uma taxa de desconto de 6, 8, 10 e 12% a.a. Ambos os sistemas foram viáveis economicamente até 10% da taxa de desconto. Com a taxa de 12%, ambos os sistemas foram inviáveis.

PONTO DE EQUILÍBRIO

O ponto de equilíbrio é uma ferramenta utilizada para avaliar a relação entre os custos fixos e os variáveis. Esse indicador calcula o volume de produção necessário a um determinado preço para pagar todos os custos, ou o preço necessário de venda associada a uma determinada produção para pagar todos os custos (Gutierrez e Dalsted, 1992). Segundo Durham *et al.* (2015), o ponto de equilíbrio é o valor mais baixo pelo qual o produto pode ser vendido e que atinge um VPL positivo. O ponto de equilíbrio é o ponto

cuja somatória das receitas, subtraindo-se os custos, gera um resultado igual a zero (Figura 5).

Antes de calcular o ponto de equilíbrio, é preciso definir os custos fixos e variáveis na propriedade. Os custos fixos são aqueles que não estão diretamente ligados à produção. Nessa categoria, enquadram-se a depreciação dos equipamentos, os custos de juros, os impostos e as despesas gerais. Os custos variáveis estão relacionados diretamente à produção. Esses custos compreendem as despesas de produção, como mão de obra, energia, alimentação, combustível, as despesas veterinárias e a irrigação, entre outras despesas diretamente relacionadas aos produtos ou aos serviços produzidos (Gutierrez e Dalsted, 1992).

Em propriedades de maior porte, o capital alocado em máquinas e infraestrutura é maior, bem como o valor de depreciação e de outros custos indiretos. Nessas unidades produtivas, é necessária maior produção para pagar os custos fixos. Em situações em que os custos variáveis são maiores que a receita bruta, a propriedade não consegue atingir o ponto de equilíbrio (Figura 6).

Figura 5. Representação esquemática de cálculo do ponto de equilíbrio

$$\text{Ponto de Equilíbrio} = \frac{\text{Custo Fixo}}{\text{Valor Unit. Venda} - \text{Valor Unit CV}}$$

em que: valor unit. venda = valor por unidade vendida (bovino, litro de leite, m³ de madeira, saca de milho, saca de soja...); valor unit CV = custo variável para produzir uma unidade vendida.

Figura 6. Representação esquemática do ponto de equilíbrio

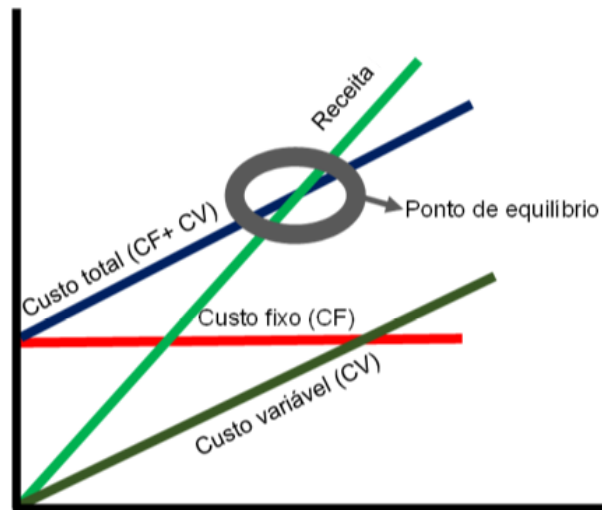


Figura 6: Representa esquematicamente o ponto de equilíbrio. Em vermelho, é observado o custo fixo. Este não se altera em função da produção ou do aumento de vendas. O custo variável está representado pela linha verde escura e este aumenta conforme aumenta a produção e a venda. A somatória dos custos fixo e variável é observada pela linha azul. A receita bruta está demonstrada pela cor verde-claro; até o ponto de equilíbrio, a receita bruta é inferior ao custo total. Após o ponto de equilíbrio, ocorre o lucro operacional.

TEMPO DE RETORNO DO CAPITAL INVESTIDO

O tempo de retorno do capital investido (*payback*) é o tempo necessário para que o capital aplicado em alguma atividade retorne aos investidores. Esse indicador consiste na soma acumulada do fluxo de caixa até o momento em que o capital investido seja pago (Rebelatto, 2004). Existem duas fórmulas de cálculo para esse indicador; a primeira no *payback* simples, e a segunda no descontado. O simples considera uma projeção de caixa futura sem aplicar a taxa mínima de atratividade sobre o capital no tempo. Já o segundo utiliza a taxa mínima de atratividade sobre os fluxos de caixa futuros descontando uma taxa e trazendo os valores para o presente. Para definir essa taxa, pode ser estabelecida a média da taxa Selic e a taxa de juros média cobrada por agências financiadoras, capitais próprios e de terceiros (Lazzarotto *et al.*, 2010). Para realizar o cálculo do *payback* simples, pode ser utilizada a fórmula descrita na Figura 7.

Figura 7. Fórmula de cálculo para *payback* simples

$$Payback = \frac{\text{investimento inicial}}{\text{resultado médio do fluxo de caixa}}$$

O *payback* descontado difere do simples por descontar uma taxa mínima de atratividade no fluxo de caixa. Esse método de cálculo traz para o presente todos os fluxos de caixa futuros, conforme a fórmula demonstrada na Figura 8. Esse indicador tem maior tempo para retorno do dinheiro investido.

Figura 8. Fórmula de cálculo para valor presente:

$$PV = \frac{FV}{(1+i)^n}$$

em que: PV = valor presente – valor do investimento ou caixa no futuro no presente; FV = valor futuro – valor do fluxo de caixa projetado; i = taxa de desconto ou taxa mínima de atratividade; n = período

Para calcular o *payback* descontado, identifica-se o ano em que ocorre a transição do valor presente acumulado negativo para positivo. Essa mudança indica a recuperação do capital investido. Sistemas produtivos com maior investimento inicial e ciclos longos, como a silvicultura, possuem *payback* maior. Esse retorno mais longo deve ser considerado no início do projeto para dimensionar o capital necessário para manter o negócio.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os sistemas integrados apresentam bom potencial produtivo e capacidade de mitigar riscos por meio da diversificação da economia de escopo. Nesses sistemas, a diversidade de produtos é maior e exige um maior controle gerencial dos custos. Todo investimento deve aumentar o capital dos sócios, e, nesse cenário, o conhecimento dos indicadores de viabilidade econômica auxilia na tomada de decisão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barbosa, F. A., Souza, R. C. 2007. Administração de fazenda de bovinos – leite e corte. Viçosa: Aprenda Fácil. p. 342.
- Buarque C.1984. Avaliação Econômica de Projetos. 1o. ed. Rio de Janeiro-RJ, Brasil: Editora Campus.
- Bowman, M. S.; Zilberman, D. 2013. Economic factors affecting diversified farming systems. *Ecologia e sociedade*, v. 18, n.1, doi: 10.5751/ES-05574-180133.
- Contador, C.R. 1981. Indicadores para seleção de projetos. In: CONTADOR, C.R. (Ed.). Avaliação social de projetos. São Paulo: Atlas. p. 37-54.
- Contador, C. R. 1988. Avaliação social de projetos. 2. ed. São Paulo, SP: Atlas.
- Clark, J. M. 1923. Studies in the economics of overhead costs. University of Chicago Press, Chicago, IN.
- Clemens, E. W. 1951. Price discrimination and the multiple-product firm. *The Review of Economic Studies*, v. 19, n.1, p. 1-11, doi: 10.2307/2296265
- Doege, R., e Lakoski, J. C. 2012. Análise comparativa de rentabilidade e lucratividade dos negócios geração, transmissão e distribuição de energia elétrica. In Anais do Congresso Brasileiro de Custos-ABC.
- Dos Reis, J. C., Kamoi, M. Y., Latorraca, D., Chen, R. F., Michetti, M., Wruck, F. J., Garrett, R.D., Valentim, J.F., Rodrigues-Filho, S., e Filho, S.R. 2019. Assessing the economic viability of integrated crop– livestock systems in Mato Grosso, Brazil. *Renewable Agriculture and Food Systems*, v. 35, n.6, p. 631-642, doi: 10.1017/S1742170519000280.
- Durham, Catherine A.; Bouma, Andrea; MEUNIER-GODDIK, Lisbeth. 2015. A decision-making tool to determine economic feasibility and break-even prices for artisan cheese operations. *Journal of Dairy Science*, v. 98, n.12, p. 8319-8332, doi: 10.3168/jds.2014-9252.
- Federação da Agricultura e Pecuária do Estado de Mato Grosso - FAMATO, Serviço Nacional de Aprendizagem Rural no Estado de Mato Grosso - SENAR-MT, Serviço Nacional de Aprendizagem em Cooperativismo no Estado de Mato Grosso - SESCOOP-MT. 2012. Diagnóstico da cadeia produtiva do leite no Estado de Mato Grosso: relatório de pesquisa. In: Gabriel Rodrigues Gomes (Ed.). 2.ed. Famato. Cuiabá.p. 109.
- Gameiro, A. H., Rocco, C. D., e Caixeta Filho, J. V. 2016. Linear Programming in the economic estimate of livestock-crop integration: application to a Brazilian dairy farm. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 45, n.4, p. 181-189, <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-92902016000400006>.
- Hoji, Masakazu. Administração Financeira: uma abordagem pratica. 5ª ed. São Paulo: ATLAS, 2006. 525.
- Leathers, H. D. 1992. Allocable fixed inputs as a cause of joint production: an empirical investigation. *Agricultural Economics* v. 7, p.109-124, doi: 10.1016/0169-5150(92)90002-G.
- Lopes, M.A.; Carvalho, F.M. 2000. Custo de produção de gado de corte. Lavras: Universidade Federal de Lavras. v. 47, n.1, p. 5-47.
- Micro, S. B. D. A. À. (2010). Doze anos de monitoramento da sobrevivência e mortalidade de empresas. São Paulo.
- Pacheco, A. R., Chaves, R. D. Q., e Nicoli, C. M. L. 2013. Integration of crops, livestock, and forestry: a system of production for the Brazilian Cerrados. Embrapa Arroz e Feijão-Capítulo em livro científico (ALICE).
- Poffenbarger, H., Artz, G., Dahlke, G., Edwards, W., Hanna, M., Russell, J., Sellers, H., e Liebman, M. 2017. An economic analysis of integrated crop-livestock systems in Iowa, USA. *Agricultural Systems*, v. 157, p. 51-69, doi: 10.1016/j.agry.2017.07.001.
- Simoes, A. R. P., de Moura, A. D., e da Rocha, D. T. 2007. Avaliação econômica comparativa de sistemas de produção de gado de corte sob condições de risco no mato grosso do sul. *Revista de Economia e Agronegócio*, v. 5, n.822-2016-54081, p. 51-72.

- Souza, A., e Clemente, A. 2004. Decisões financeiras e análise de investimentos: fundamentos, técnicas e aplicações (Vol. 5). Atlas. KASSAI, R. et. al. Retorno de Investimento: Abordagem Matemática e Contábil do Lucro Empresarial. 2. Ed. São Paulo: Atlas.
- Lazarotto, J. J., dos Santos, M. L., de Lima, J. E., e de Moraes, A. 2009. Volatilidade dos retornos econômicos associados à integração lavoura-pecuária no Estado do Paraná. *Revista de Economia e Agronegócio*, v. 7, n.2.
- Gitman, L. J. 2002. Princípios de administração financeira. 7. ed. São Paulo: Harbra.
- Gutierrez, P. H., e Dalsted, N.L. 1990. Break-even method of investment analysis (Doctoral dissertation, Colorado State University. Libraries).
- Hendriksen, E.S.; Van Breda, M.F.1999. Teoria da contabilidade. 5. ed. São Paulo: Atlas.
- Isenmann, R.; Bey, C.; Welter, M. 2007. Online reporting for sustainability issues. *Business Strategy and the Environment*, v. 16, p. 487-501, doi:10.1002/bse.597.
- Madalena, F.E. 2001. A vaca econômica. In: Encontro de produtores de F1 – Jornada técnica sobre utilização de F1 para produção de leite, 3., Juiz de Fora. Anais. Juiz de Fora: Embrapa – CNPGL, p. 9-16.
- Martha Júnior, G. B., Alves, E., e Contini, E. 2011. Dimensão econômica de sistemas de integração lavoura-pecuária. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 46, n.10, p. 1117-1126.
- Marshall A. 1890. – Principles of economics, 1st Ed. Macmillan, London.
- Martin, N.B., Serra, R., Oliveira, M. D. M., Ângelo, J. A., e Okawa, H. 1998. Sistema integrado de custos agropecuários- custagri. Informacoes economicas-governo do estado de sao paulo instituto de economia agricola, v. 28, p. 7-28.
- Matsunaga, M., Bemelmans, P. F., e de Toledo, P. E. N.1976. Metodologia de custo de producao utilizada pelo IEA [Brasil]. *Agricultura em Sao Paulo (Brasil)*. v. 23 (1) p. 123-139.
- Müller, M. D., Nogueira, G. S., Castro, C. R. T. D., Paciullo, D. S. C., Alves, F. D. F., Castro, R. V. O., e Fernandes, E. N.2011. Economic analysis of an agrosilvipastoral system for a mountainous area in Zona da Mata Mineira, Brazil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 46, n.10, p. 1148-1153, doi: 10.1590/S0100-204X2011001000005.
- Oaigen, R. P., Barcellos, J. O. J., Christofari, L. F., Braccini Neto, J., Oliveira, T. E. D., e Prates, Ê. R. 2008. Melhoria organizacional na produção de bezerros de corte a partir dos centros de custos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 37, n.3, p. 580-587, doi: 10.1590/S1516-35982008000300025.
- Oliveira Júnior, O.L., Carnevalli, R. A., Peres, A. A. C., Reis, J. C., Moraes, M. C. M. M., e Pedreira, B. C. 2016. Análise econômico-financeira de sistemas integrados para a produção de novilhas leiteiras. *Archivos de zootecnia*, v. 65, n.250, p. 203-212.
- Panzar, John C., and Robert D. Willig. 1981. "Economies of Scope." *American Economic Review*, v. 71, n.2, p. 268-272
- Pascoaloto, I. M., Andreotti, M., Cruz, S. S. D., Sabbag, O. J., Borghi, E., Lima, G. C. D., e Modesto, V. C. 2017. Economic analysis of sorghum consortia with forages or with dwarf pigeon pea succeeded by soybean or corn. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 52, n.10, p. 833-840, doi: 10.1590/s0100-204x2017001000002.
- Rebelatto, D. A. N.2004. Projeto de Investimento. 1. ed. Barueri - SP: Editora Manole, v. 01, p. 329.
- Rodrigues, P. R. A. 2009. Gestão estratégica de Armazenagem. São Paulo: Aduaneiras, 2010 SIDALC, BDAGBAMB. Título: Como criar e administrar associações de produtores rurais; manual de orientação. P. imprensa: Brasília, DF (Brasil), p. 155.
- Souza, A.; Clemente, A. 2012. Decisões financeiras e análise de investimentos: fundamentos, técnicas e aplicações. 6. ed. – 5. reimpr. – São Paulo: Atlas.

Stickney, C.P.; Weil, R.L. 2001. Contabilidade financeira: uma introdução aos conceitos, métodos e usos. São Paulo: Atlas.

Teece, D. J. 1982. Towards an economic theory of the multiproduct firm. *Journal of Economic Behavior e Organization*, v. 3, n.1, p. 39-63, doi: 10.1016/0167-2681(82)90003-8.

CAPÍTULO 16

PLANEJAMENTO E GESTÃO POR INDICADORES EM SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO

*Guilherme Lobato Menezes; Diogo Gonzaga Jayme; Alan Figueiredo de Oliveira;
Lúcio Carlos Gonçalves; Matheus Anchieta Ramirez; Pamella Grossi de Sousa;
Frederico Patrus Ananias de Assis Pires; Rafael Araújo de Menezes*

RESUMO

O planejamento, a utilização de ferramentas gerenciais e a gestão por indicadores são métodos que auxiliam os gestores a tomar decisão. Os sistemas produtivos estão cada vez mais intensificados e com maior aporte de capital investido. As propriedades rurais precisam inovar na forma de gerir. Os sistemas de integração possibilitam melhor uso da terra e podem diminuir os riscos produtivos a partir da diversificação. Entretanto, os sistemas integrados possuem uma complexidade gerencial maior por terem, no mesmo ambiente, vários segmentos da cadeia produtiva. Definir os pontos fortes, os fracos, as oportunidades e as ameaças ligadas à propriedade auxilia na construção do planejamento estratégico, que, aliado ao plano tático e operacional, vai proporcionar melhores resultados. O método PDCA (planejar, executar, checar e agir) é o caminho para atingir as metas e a sustentabilidade do negócio.

INTRODUÇÃO

A pecuária brasileira assume posição de destaque no mundo. Segundo dados do IBGE de 2018, o rebanho de bovinos no país equivale a mais de 213,7 milhões de cabeças de gado. O segmento de corte somou R\$ 618,50 bilhões em 2019, o que representou 8,5% do produto interno bruto (PIB) nacional (ABIEC, 2020). Já a produção de leite, segundo dados do Anuário Leite 2019, publicado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), cresceu 271% entre os anos 1974 e 2017. No ano de 2018, foram produzidos 24,46 bilhões de litros, tornando o país o terceiro maior produtor do mundo.

O Brasil também é destaque na agricultura e na silvicultura. Na safra 2018/2019, foram produzidos 100,04 milhões de toneladas de milho e 114,84 de soja, em uma área cultivada de 17,49 e 35,82 milhões de hectares, respectivamente (Conab, 2020). As

florestas plantadas ocupam 10 milhões de hectares e o país lidera o *ranking* global de produtividade florestal, com uma média de 35,7 m³/ha/ano na plantação de eucalipto e de 30,5 m³/ha/ano no plantio de pinus (Indústria Brasileira de Árvores, 2016). Os dados de produtividade no país ainda são bastante heterogêneos, e parte dessa heterogeneidade ocorre devido a condições de solo inadequadas, a intempéries climáticas, a práticas impróprias de manejo, à ingerência operacional, à falta de capital e a falhas de planejamento. O país possui 70% das pastagens com algum grau de degradação, o que representa uma grande oportunidade de melhoria no aumento da produtividade por área e na sustentabilidade do setor (Dias filho, 2014).

O conceito do *Triple Bottom Line* (TBL), conhecido como tripé da sustentabilidade, aponta a necessidade do desempenho econômico aliado ao ambiental, ao social e a suas inter-relações. A sociedade, nos tempos modernos, busca por alimentos produzidos desta forma e o âmbito produtivo deixa de ser o único foco. Os sistemas de integração são capazes de produzir alimentos e matérias-primas respeitando esses pilares e diminuindo o impacto da atividade sobre o meio ambiente (Isenmann *et al.*, 2007).

O sistema de produção, quando mais diversificado, envolve maior complexidade produtiva e pode gerar maior investimento inicial (Lazzarotto *et al.*, 2009). Os bons resultados não estão atrelados somente ao conhecimento técnico, mas também ao gerencial e à liderança. Planejar as ações, executar, checar e agir corretivamente pode ser uma das formas mais seguras para alcançar os objetivos propostos. Para isso, a mensuração dos dados é a única maneira de checar se as metas estão sendo alcançadas. Apesar de relativamente fácil, essa fase muitas vezes é negligenciada (Campos, 2014).

Assim, definir indicadores-chave pode potencializar o alcance dos resultados. Essa definição proporciona foco nos objetivos, evita desperdício de tempo com coleta de dados desnecessários e alinha os planos estratégicos, táticos e operacionais da instituição.

A formulação de uma boa estratégia permite que as empresas identifiquem seus pontos fortes, fracos e desenvolvam posições únicas no mercado, aumentando a competitividade (Teece *et al.*, 1997). Além disso, essa estratégia pode ajudar a entender as oportunidades e as ameaças inerentes ao sistema, o que auxilia nas tomadas de decisões e aumenta a competitividade no mercado.

Um bom planejamento reduz a ocorrência de falhas. Estas, quando ocorrem, podem inviabilizar a produção tanto na parte econômica, quanto na parte ambiental e na social. Dessa forma, objetivou-se demonstrar, com este capítulo, a contextualização do

planejamento em sistemas integrados, a definição dos indicadores e o método de gerenciamento para alcance de resultados.

PLANEJAMENTO

O planejamento é uma ferramenta que possibilita organizar os ideais em busca de um objetivo no futuro. Essa etapa auxilia na orientação dos esforços para a maximização dos resultados. Planejar exige método e execução orientada. Durante essa fase, em sistemas integrados, é importante avaliar uma série de fatores, tais como: as condições climáticas, do solo, das estradas de acesso, da aptidão da região; o custo de reposição dos bezerros, das novilhas e das matrizes; o valor da arroba; o preço médio da madeira; a disponibilidade de mão de obra; entre outros. Essa análise é importante para definir o *Core Business*, ou produto principal (lavoura, floresta ou bovinos) da propriedade. As propriedades rurais possuem características muito particulares, o que dificulta a criação de um sistema padrão que se adapte a todas. Dessa forma, faz-se necessária a realização do diagnóstico inicial para definir os rumos da propriedade.

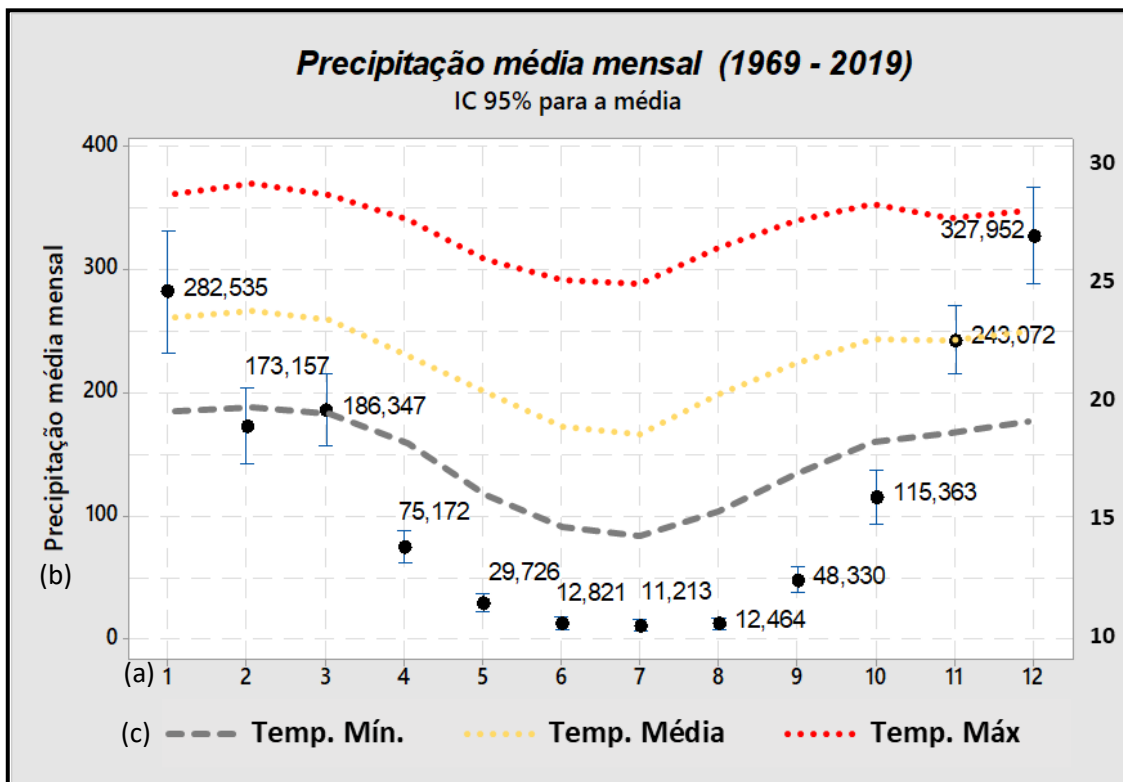
[...] o planejamento compreende um processo de formulação das estratégias que a organização utilizará para direcionar e fortalecer seu desempenho e posição competitiva, e como essas estratégias são desdobradas em planos de ação e metas para todas as áreas da organização, e examina como o processo de formulação e operacionalização das estratégias pode ser reavaliado e melhorado (Paludo e Procopiuck, 2011, p. 27).

Para realizar esse diagnóstico, é fundamental uma boa capacidade analítica e uma avaliação das questões climáticas, que possibilitarão a tomada de decisões estratégicas para diminuir os riscos produtivos. Na Figura 1, estão representados dados do Inmet (Instituto Nacional de Meteorologia) que exemplificam uma análise de 50 anos da pluviosidade e da distribuição de temperaturas na região de Belo Horizonte. Os índices de produtividade das pastagens cultivadas e das lavouras estão diretamente relacionados às condições edafoclimáticas e podem direcionar as decisões (Filho *et al.*, 2003; Streck e Alberto, 2006).

Questões logísticas e proximidade a regiões produtoras de grãos serão definidoras e direcionadoras ao negócio para produção de bois, grãos ou silvicultura. Quanto mais curto o ciclo produtivo, como nas situações de lavoura e pecuária, maiores são as

exigências por melhores condições de acesso. Em fazendas com maior dificuldade logística, pode se optar por culturas de ciclos mais longos.

Figura 1. Dados do Inmet – Análise de pluviosidade e clima na região de Belo Horizonte



- (a) Meses do ano de 1 a 12;
- (b) precipitação média mensal em mm de chuva;
- (c) temperatura mínima, média e máxima mensal.

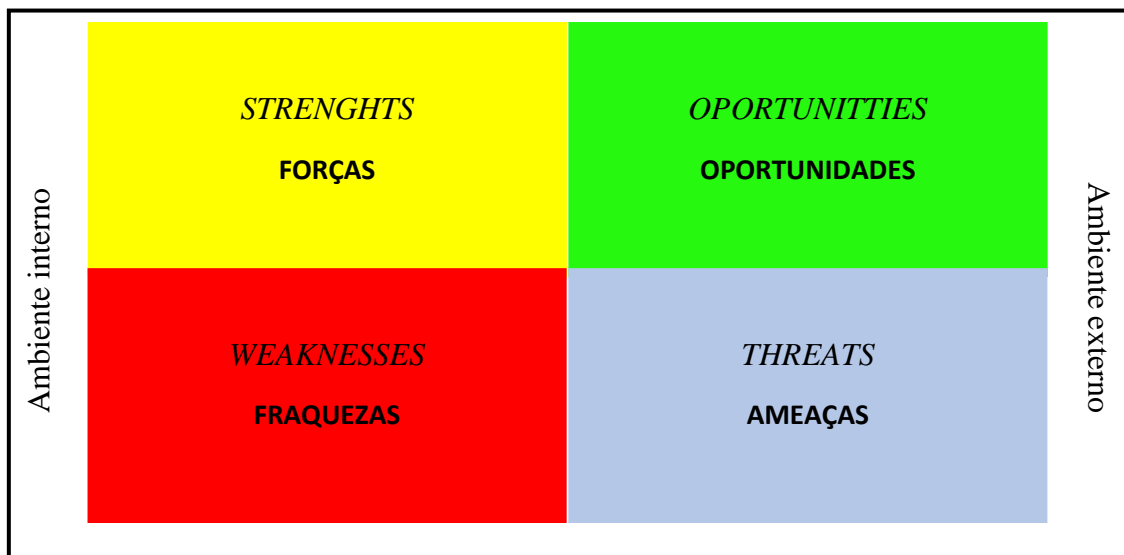
Fonte: Adaptado de Inmet (2019).

É importante realizar análise situacional a fim de avaliar oportunidades de melhoria, de identificar anomalias, de coletar dados, de analisar causas, de propor soluções por meio de planos de ação, de executar e de checar as ações e, quando necessário, realizar medidas corretivas. As tomadas de decisões, quando bem planejadas, possibilitam maior assertividade e competitividade no mercado (Souza *et al.*, 2014).

A análise de forças, fraquezas, oportunidade e ameaças (SWOT) foi criada em meados dos anos 60, por Albert Humphrey, na Universidade de Harvard, e se difundiu após a década de 70. Essa ferramenta de simples utilização e de fácil compreensão é a principal metodologia de análise de casos que dizem respeito à gestão e ao posicionamento estratégico das empresas por alinhar-lhes os recursos internos e externos (Novicevic e Harvey, 2004; Leite e Gasparotto., 2018).

Essa ferramenta avalia, no ambiente interno da empresa rural, as forças e as fraquezas, fatores importantes de serem mapeados por estarem sob total controle da propriedade (Figura 2). Em relação ao ambiente externo, avaliam-se as oportunidades e as ameaças, pois essas não podem ser controladas pelo empreendimento, mas podem impactar diretamente o projeto e, em muitos casos, inviabilizar o sistema produtivo.

Figura 2. Componentes de uma análise SWOT



Fonte: Adaptado de Firmino *et al.* (2020).

Aqui serão abordados alguns pontos fortes e fracos, oportunidades e ameaças ligadas aos sistemas integrados. É válido lembrar que cada propriedade possui suas forças e suas fraquezas. Portanto, a análise deve ser realizada no contexto de cada uma, a partir de um diagnóstico situacional detalhado.

Forças

Na análise do ambiente interno, podem ser observados pontos fortes, que ocasionam vantagens competitivas em relação ao mercado. Esses pontos devem ser potencializados a fim de suprirem as debilidades do sistema (Oliveira, 2011). Em sistemas integrados, são observados como pontos fortes: o maior sequestro de carbono, a recuperação de áreas degradadas, a intensificação do uso da terra, a melhoria dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, o melhor conforto e o bem-estar animal, a maior produção individual por animal, o melhor valor nutricional das pastagens, a quebra no ciclo de pragas e doenças, a adequação ambiental, a conservação da água, a maior mitigação dos riscos de mercado por diversificação das atividades, a menor emissão de metano por indivíduo por encurtar o ciclo produtivo, a maior diluição do custo de mão de obra na propriedade por meio do aumento de produção, o aumento do lucro por hectare

na propriedade, a melhor distribuição das receitas e o equilíbrio no fluxo de caixa, a possibilidade de verticalização utilizando o grão produzido na propriedade na nutrição animal, a melhoria da umidade do ar e o desenvolvimento da propriedade no âmbito gerencial (Balbino *et al.*, 2011; Poffenbarger *et al.*, 2017).

Fraquezas

De acordo com Oliveira (2011), ainda no ambiente interno, devem ser observadas as fraquezas que podem diminuir a competitividade da propriedade em relação ao mercado. Essas fraquezas podem ameaçar a sobrevivência da propriedade na atividade se não forem gerenciadas.

Os sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) que desenvolvem a pecuária de corte apresentam ciclos mais longos. Esse maior ciclo pode ser um dificultador na implementação desses sistemas, já que demanda alto capital (Salles *et al.*, 2012). Segundo Bungenstab *et al.* (2012), um ciclo completo de ILPF ocorre em torno de sete anos, podendo chegar a até 20 anos. Em sistemas que envolvem agricultura, o ciclo é menor, porém há maior risco quando comparados a sistemas integrados. Esse fato ocorre devido à menor diversificação, o que torna o sistema mais susceptível a oscilações de preço no mercado (Poffenbarger *et al.*, 2017). Dependendo do tamanho da propriedade, a aquisição de maquinário é inviável, o que torna o sistema dependente de locações.

Outros pontos fracos observados em sistemas que envolvem silvicultura são a menor produção de volumoso, a menor capacidade de suporte e a menor produção de arrobas por hectare quando comparados a sistemas em pleno sol bem manejados (Santos *et al.*, 2018).

Oportunidades

As oportunidades estão ligadas ao ambiente externo e, apesar de a propriedade não controlar esse fator, estão diretamente relacionadas à tomada de decisão no plano estratégico (Leite e Gasparotto, 2018). Podem ser considerados oportunidades, em sistemas de integração, o acesso ao financiamento pelo plano ABC, a participação em programas de fomento sustentáveis, a forte participação do agronegócio no PIB nacional, a abertura de mercados para exportação, o aumento da demanda no mercado por produtos sustentáveis, a agregação de valor à carne por meio de mercados de nicho, o crescimento na demanda por produtos florestais, a necessidade de diminuição de desmatamento e o

mercado da silvicultura com possibilidade de exportação de diferentes produtos (celulose e papel, indústria madeireira e siderúrgica) (Embrapa, 2016).

Ameaças

As ameaças são pontos de fragilidade do empreendimento em relação ao mercado em que atua. Esse cenário não pode ser controlado pela fazenda, mas está ligado a decisões no plano estratégico (Leite e Gasparotto, 2018), tendo como exemplos o mercado de *commodities*, a dificuldade de utilização de ferramentas para proteção de preço em cadeias produtivas de longo prazo, os surtos sanitários, os problemas políticos, as queimadas e a queda no valor dos produtos (lavoura, pecuária e floresta).

A definição das forças, fraquezas, oportunidades e ameaças de cada empreendimento será importante na fase de planejamento e na definição dos indicadores-chave que acompanharão os resultados do projeto.

GESTÃO POR INDICADORES

Os indicadores produtivos auxiliam na gestão e na tomada de decisão da propriedade. O gestor, quando decide gerenciar um número grande de indicadores, pode não administrar os principais, aqueles que proporcionariam maior resultado. Isso é explicado pelo limite cognitivo do ser humano de assimilar informações. Existe um período finito de memória imediata e esse tem cerca de sete itens. A memória imediata impõe severas limitações à quantidade de informações que somos capazes de receber, processar e lembrar (Miller, 1956).

Os indicadores podem ser divididos no âmbito estratégico, tático e operacional. Esses indicadores são interligados por um sistema de gestão com algumas metas e medidas voltadas para o controle dos meios de produção, com o objetivo de alcançar resultados no sistema. A definição dos indicadores deve alinhar o planejamento estratégico, tático e operacional. O planejamento estratégico tem uma visão em longo prazo e está ligado ao conceito de eficácia. Já o tático ocorre em médio prazo e está voltado aos meios para alcançar os objetivos especificados. O planejamento operacional é o gerenciamento da rotina do dia a dia e permite que os resultados no plano tático sejam alcançados (Oliveira, 2007).

O Gerenciamento por Diretrizes é a área do Sistema de Gestão em que ocorrem as melhorias anuais, que são interligadas ao Gerenciamento Estratégico e ao Gerenciamento da Rotina do Trabalho do dia a dia. Um problema estratégico é aquele

que está diretamente ligado às metas de longo prazo da organização e, portanto, relacionado à própria sobrevivência do negócio. Os indicadores de longo prazo são sustentados pelos indicadores táticos, e esses, conseqüentemente, pelos operacionais. A definição dos indicadores estratégicos parte dos donos, dos acionistas ou da alta direção. Os indicadores táticos são definidos pelos técnicos e pelos gestores. Já os operacionais são indicadores que demonstrarão os resultados do dia a dia da propriedade.

Na Figura 3, estão exemplificados alguns exemplos de indicadores em cada nível gerencial. Entretanto, é válido ressaltar que os indicadores citados são apenas exemplos. Cada propriedade possui suas estratégias e particularidades operacionais, e, por isso, os indicadores devem ser avaliados para cada caso.

Figura 3. Exemplo de indicadores estratégicos, táticos e operacionais em sistemas integrados

Estratégia - Gerenciamento Estratégico

Margem EBTIDA (lucro operacional antes do imposto de renda e receitas/despesas financeiras + depreciação + amortização), lucro operacional, lucro líquido, faturamento bruto, custo operacional efetivo, número de animais vendidos, área de lavoura, área de floresta plantada e espaçamento entre renques.

Tático - Gerenciamento por Diretrizes

Idade ao abate, peso médio ao abate, arrobas produzidas, ganho médio diário, produtividade por área, ganho de carcaça, rendimento do ganho, rendimento de carcaça, produção de madeira por hectare e produção em sacas de milho, soja e outras culturas por hectare.

Operacional - Gerenciamento de Rotina

Consumo de suplemento, coeficiente de variação do peso de entrada, taxa de lotação, escore de pasto, infestação por lagartas, infestação por pragas, custo hora máquina, velocidade de colheita, conformidade de cocho, conformidade de bebedouro, presença de suplementação no cocho e graus de infestação por formigas.

MÉTODO PARA GESTÃO POR INDICADORES

O ciclo PDCA é uma das ferramentas da qualidade total, que significa planejar, executar, checar e agir. Criado por Walter Shewhart, em 1920, foi disseminado no mundo, anos mais tarde, por William Edwards Deming (Marshall Junior *et al.*, 2003). Segundo Souza (2014), o método pode ser aplicado em qualquer tipo de empresa e traz grandes benefícios quando realizado com sucesso. O método é constituído por ações sequenciais em que as decisões são planejadas a partir de fatos e dados, e trata-se de um dos pilares para alcançar resultados. Implementar um PDCA nada mais é que definir um plano para que os indicadores atinjam uma meta (Campos, 2014).

Em sistemas de integração, o ciclo pode ser empregado tanto na fase de implementação quanto no gerenciamento e na rotina. Sua utilização na fase de implementação envolve planejamento, execução das ações planejadas, checagem e ações corretivas ou de padronização. Na Figura 4, estão demonstradas as principais ações em cada fase do ciclo. A última etapa da fase de planejamento é a elaboração do plano de ação. Nessa etapa, pode ser utilizada a metodologia de 5W1H (Tabela 1), com os questionamentos: “o quê?”, “como?”, “por quê?” “quem?”, “quando?” e “onde?” (traduzido do inglês “what”, “how”, “why”, “who”, “when”, “where”). O propósito disso é auxiliar o entendimento das responsabilidades, dos objetivos e dos recursos, da definição de métodos e de prazos (Souza *et al.*, 2014).

Figura 4. Ciclo PDCA em sistemas de integração



(a) PDCA = planejar (P), executar (E), checar (C), agir (A).

Fonte: Adaptado Campos (2014).

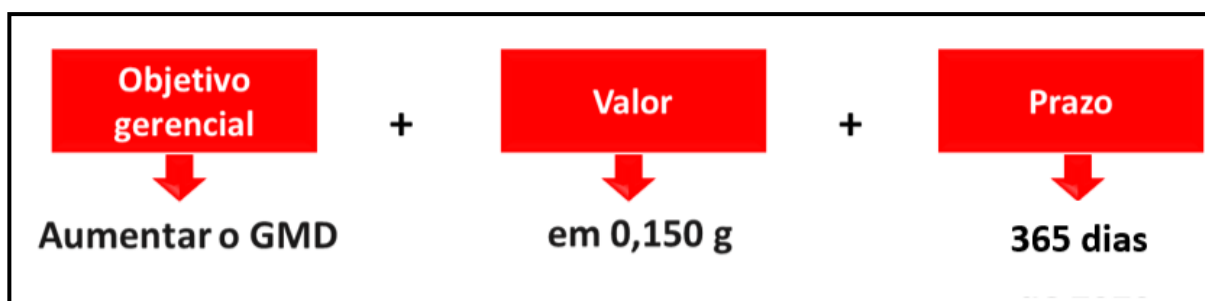
Tabela 1. Modelo estruturado de Plano de Ação 5W1H

Origem da sigla	Questionamento	Exemplos
<i>What</i>	O quê?	Adubar pastos
<i>Who</i>	Quem?	Encarregado das pastagens
<i>When</i>	Quando?	Até novembro
<i>Where</i>	Onde?	Pastos de ILPF
<i>Why</i>	Por quê?	Para aumentar a lotação dos pastos
<i>How</i>	Como?	Avaliando a demanda de adubação com o técnico responsável, aguardando o início das chuvas e distribuindo-a uniformemente nas pastagens

Fonte: Adaptado Campos (2014).

Na fase de planejamento é quando se definem as metas. A definição das metas ocorre a partir das necessidades dos clientes, dos funcionários e do mercado. É necessário ter a visão sistêmica de toda a empresa, já que o negócio precisa ser interessante para todos. O sistema de gestão permite o alinhamento entre a visão sistêmica, o futuro e a rotina da produção. Toda meta deve ter um objetivo gerencial, um valor e um prazo (Campos, 2014). Exemplificando, o objetivo gerencial pode ser aumentar o ganho médio diário (GMD) em 0,150 g em um prazo de até 365 dias, como ilustrado na Figura 5.

Figura 5. Componentes necessários para a definição de uma meta



Fonte: Adaptado Campos (2014).

Toda meta deve ser específica, mensurável, alcançável, relevante e temporal; para sua definição, é preciso fazer um *benchmark* interno e/ou externo, avaliar a situação atual e definir o alvo de melhoria, como descrito abaixo.

- **Benchmark** é um número referência, um balizador, que pode ser interno ou externo à propriedade. Esse número permite avaliar como está o desempenho da propriedade em relação às outras.

- **Situação atual** é o valor médio em que se encontra o processo atualmente. Baseando-se na situação atual, consegue-se medir o desafio para atingir a meta.

- **Lacuna** é a diferença entre a situação atual e o *benchmark*. Ela mostra a oportunidade de melhoria de resultado. Lacuna é diferente de meta, pois a lacuna, dependendo da diferença, pode ter sua resolução superior a um ano.

- **Problema** é a diferença entre a situação atual e a meta.

Para alcançar os objetivos planejados, uma das formas de utilização do ciclo PDCA é o Método de Análise e Solução de Problemas (Masp), que abrange a solução de problemas avaliando as causas, otimizando tempo de solução, planejando atividades, monitorando desempenho, avaliando resultados e tomando decisões (Longary *et al.*, 2017).

As etapas desse ciclo envolvem a identificação do problema, que é um resultado indesejado provindo de um processo (Alves, 2015). Após a identificação desse desvio, o problema é estudado em uma análise de fenômeno, em que se utilizam ferramentas da qualidade como a estratificação do problema, a fim de entender as causas primárias do desvio (Maciel *et al.*, 2011). Uma das ferramentas usadas é a análise de Pareto. Esta demonstra que 20% das causas são responsáveis por 80% dos problemas, sendo possível corrigir 80% dos problemas atuando em 20% das causas (Neves e Freire, 2016). A estratificação de problema estuda o desvio em partes, facilitando a análise para buscar sua solução. Nessa análise, não há um modelo padrão único; este varia entre os diferentes casos (Mariani *et al.*, 2005). Utilizando-se o exemplo da Figura 5, se os animais não atingirem o ganho de peso planejado, para entender o desvio devem ser mensuradas as condições de oferta de forragem e de suplemento, as chuvas, assim como a dispersão do ganho avaliado pelo coeficiente de variação do ganho de peso.

Com base nesses dados explorados, são identificadas no processo oportunidades de melhoria e as causas principais, por meio da análise de processo. Pode ser utilizado nessa etapa o *brainstorm*, o diagrama de Ishikawa e a técnica dos 5 porquês. O *brainstorm*, conhecido como tempestade ou chuva de ideias, é uma técnica que utiliza a opinião de pessoas envolvidas no dia a dia do processo, expressa de forma livre sobre um problema (Souza *et al.*, 2014). As causas primárias apontadas no *brainstorm* são

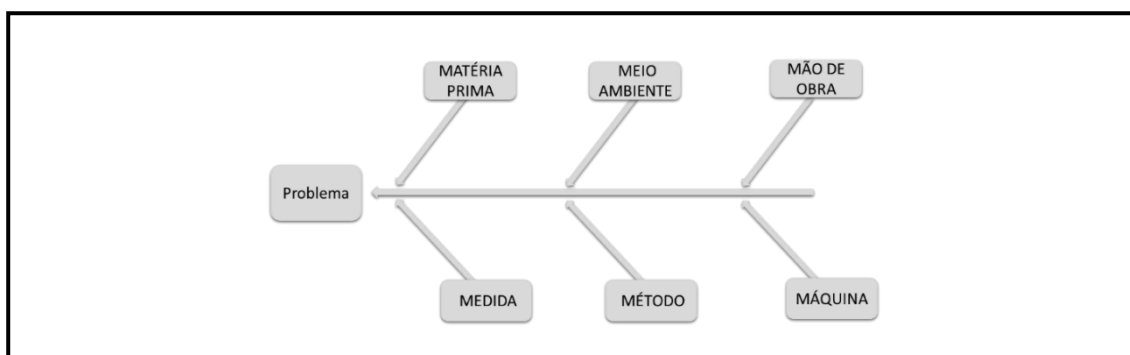
analisadas por meio da técnica desenvolvida por Taliche Ono, pai do Sistema de Produção Toyota, a qual consiste em formular a pergunta “Por quê?” cinco vezes para compreender e encontrar uma causa raiz, evitando medidas paliativas (Fernandes *et al.*, 2016). Após todo o processo, as causas raízes são estruturadas no diagrama de Ishikawa, também conhecido como diagrama de causa e efeito ou espinha de peixe. Esse método demonstra os fins sendo justificados por um conjunto de causas meio. É dividido em 6 M, sendo eles: matéria-prima, máquina, medida, meio ambiente, mão de obra e método (Campos, 2014) (Figura 6).

Após todo esse processo, é estruturado o plano de ação, que pode ser disposto utilizando-se a metodologia do 5W1H, conforme descrito na Tabela 1. Nesse plano de ação, é fundamental que as ações representadas pelas causas fundamentais sejam bem estruturadas, definindo os responsáveis pela execução.

Segundo Godinho *et al.* (2009), a fase de execução exige que as pessoas sejam treinadas e educadas quanto ao objetivo, ao método e às metas a serem desenvolvidos. Nessas fases, as ações devem ser executadas conforme o planejado, respeitando-se os prazos estabelecidos.

Na fase de checagem, é realizada nova coleta de dados, e os resultados são comparados em relação à meta (Tofoli *et al.*, 2008). Nessa etapa, é importante avaliar se as atividades foram executadas conforme o proposto, pois o resultado é interligado à eficácia de aplicação das ações (Godinho e Carvalho, 2009).

Figura 6. Diagrama de Ishikawa ou espinha de peixe*

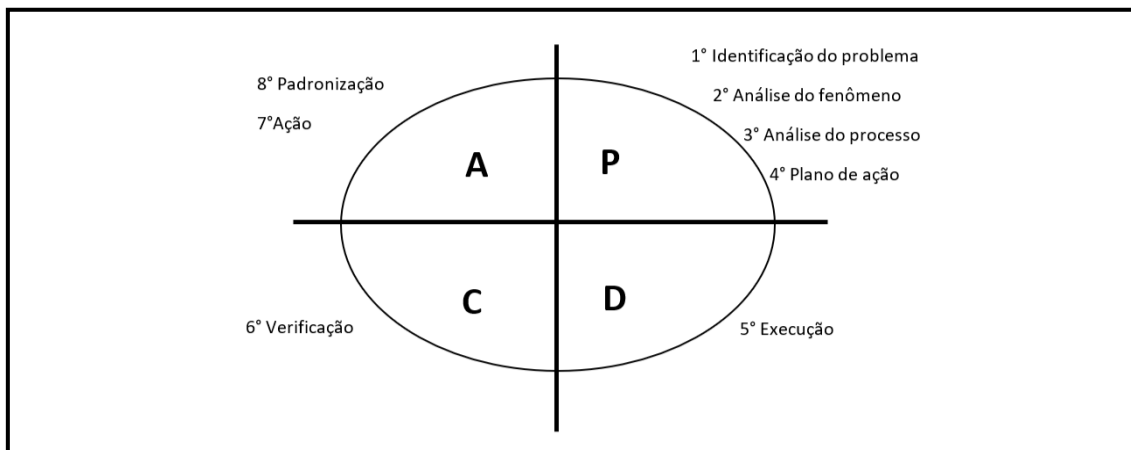


*O diagrama de Ishikawa demonstra as causas do problema, organizadas em matéria-prima, meio ambiente, mão de obra, medida, método e máquina.

Após a checagem, ações corretivas ou de padronização são geradas (Mariani *et al.*, 2005). Se o resultado for atingido, deve-se padronizar o processo, assegurando-se a continuidade e a melhoria contínua. Entretanto, se o resultado não for atingido, deve-se retomar o ciclo PDCA desde o início e entender melhor as causas (Campos, 2014). O

método PDCA para análise de solução de problemas é efetivo quando bem aplicado, pois atua nas causas raízes, resolvendo o problema e evitando medidas paliativas que causam não conformidades dos produtos e geram insatisfação do cliente (Figura 7).

Figura 7. Etapa do PDCA e os passos a serem seguidos, desde a identificação do problema até a resolução seguida de padronização



(a) PDCA = planejar (P), executar (E), checar(C), gir (A). Fonte: Adaptado de Campos (2014).

O método PDCA foi aplicado em grandes empresas de diversos segmentos. Quando aplicado de maneira adequada com a equipe, gera resultados muito satisfatórios. Na agricultura, na silvicultura e na pecuária não é diferente; os processos, apesar de distintos, podem ser gerenciados utilizando-se a metodologia, a fim de evitar anomalias, corrigir falhas, planejar e alcançar metas e aumentar a satisfação do cliente.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os sistemas de integração possuem maior complexidade produtiva em relação aos sistemas convencionais. O conhecimento técnico nesse caso é fundamental, mas deve ser complementado. Alinhar as experiências com o conhecimento gerencial e com as ferramentas de gestão possibilita mitigar os riscos e atuar de forma corretiva. O método é o caminho para atingir a meta e otimizar os resultados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alves, E. A. C. 2015. O PDCA como ferramenta de gestão da rotina: Congresso Nacional de Excelência em Gestão.
- Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne [ABIEC]. 2020. Beef Report 2020. Disponível em: <http://abiec.com.br/publicacoes/beef-report-2020>. Acesso em: 06 de dezembro. 2020.
- Balbino, L. C.; Barcellos, A. De O.; Stone, I. F. 2011. Marco referencial em integração lavoura-pecuária-floresta. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, p. 130.
- Bungenstab, D. J. .2012. Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta: a produção sustentável. Brasília, DF: Embrapa, 2012.
- Campos, V. F. 2014. TQC Controle da Qualidade Total - No estilo Japonês. 9ª. ed. Editora: Falconi. Nova Lima.
- CONAB Companhia Nacional de Abastecimento. 2020. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. v. 7 – Safra 2019/20, n.4. Quarto levantamento, janeiro 2020, p. 66-74.
- Embrapa agrossilvipastoril. Ilpf em números. 2016. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1064859/ilpf-em-numeros>>. Acesso em: 05 de abril. 2020.
- Dias Filho, M. B. 2014. Diagnóstico das Pastagens no Brasil. Belém: Embrapa Amazônia Oriental. Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 402, p. 36.
- Fernandes, A. F. S.; Ribeiro, J. P.; Almeida, L. F. 2016. Ferramentas da qualidade: aplicação em uma indústria de embalagens plásticas para redução de quebras nas máquinas extrusoras. João Pessoa, PB: XXXVI ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO.
- Filho, D. C. A.; Neumann, M.; Restle, J.; Souza, A. N.M.; Peixoto, L. A. O. 2003. Características agronômicas produtivas, qualidade e custo de produção de forragem em pastagem de azevém (*Lolium multiflorum* Lam) fertilizada com dois tipos de adubo. *Ciência Rural*, v. 33, n.1, doi: 10.1590/S0103-84782003000100023.
- Firmino, A. S., Perles, G. X., Mendes, J. V. , Silva, J. E. A. R. D., e Silva, D. A. L. 2020. Towards Industry 4.0: a SWOT-based analysis for companies located in the Sorocaba Metropolitan Region (São Paulo State, Brazil). *Gestão e Produção*, v. 27, n.3.
- Godinho, R. F.; Carvalho, R. D. C. R. 2009. Gestão de sistemas de produção de leite. *Ciência Et Praxis*, v. 2, n. 3, p. 77-82
- Isenmann, R.; Bey, C.; Welter, M. 2007. Online reporting for sustainability issues. *Business Strategy and the Environment*, v. 16, p. 487-501, doi: 10.1002/bse.597.
- Lazzarotto, J. J.; Santos, M. L.; Lima, J. E.; Moraes, A. 2009. Volatilidade dos retornos econômicos associados à integração lavoura-pecuária no estado do paraná. *Revista de economia e agronegócio*, v. 7, n.2.
- Leite, M. R. S.; Gasparotto, A. M. S. 2018. Análise Swot E Suas Funcionalidades: o autoconhecimento da empresa e sua importância. *Interface Tecnológica*. p. 84-95. doi: 10.31510/infa.v15i2.450.
- Longary, A. A., Laurino, F. C., Tondolo, V. A. G., e Munhoz, P. R. 2017. Proposta de aplicação do ciclo PDCA para melhoria contínua do sistema de confinamento bovino: um estudo de caso. *Sistemas e Gestão*, v. 12, n.3, p. 353-61. doi: 10.20985/1980-5160.2017.v12n3.1123.
- Maciel, G. S., Vilaça, L. L., Machado, M. M., de Carvalho, M. P. R., Netto, T. A., e Pereira Filho, Z. R. 2011. Aplicação da ferramenta PDCA na solução de problemas de anomalias no processo de operações portuárias - atividade pré-embarque. *Perspectivas Online Revista Científica: Exatas e Engenharia*, v. 1, n. 1.
- Marshall Junior, I., Cierco, A. A., Rocha A.V., Mota, E. B. 2003. Gestão da qualidade. 2. ed. Rio de Janeiro: FGV.

- Mariani, C. A.; Pizzinatto, N.K.; Farah, O. E. 2005. Método PDCA e Ferramentas da Qualidade no Gerenciamento de Processos Industriais: Um Estudo de Caso. XII SIMPEP – Bauru, SP: SIMPEP.
- Miller, G. A. 1956. The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological review*, v. 63, n. 2, p. 81.
- Neves, B. R. C.; Freire, F. D. S. 2016. Características do Princípio de Pareto no Setor Bancário Brasileiro. Departamento de Ciências Contábeis e Atuariais, Universidade de Brasília, Brasília.
- Novicevic, M., Harvey, M. 2004. Dual-perspective SWOT: a synthesis of marketing intelligence and planning. *Marketing Intelligence e Planning*, v 22, n.1, p. 84-94.
- Oliveira, Djalma de Pinho R. 2011. Administração Estratégica na Prática. São Paulo: Atlas Editora. p. 275.
- Paludo, A. V. E Procopiuck, M. 2011. Planejamento Governamental: referencial teórico, conceitual e prático. São Paulo: Atlas.
- Poffenbarger, H., Artz, G., Dahlke, G., Edwards, W., Hanna, M., Russell, J., Sellers, H., e Liebman, M. 2017. An economic analysis of integrated crop-livestock systems in Iowa, USA. *Agricultural Systems*, v. 157, p. 51-69, doi: 10.1016/j.agsy.2017.07.001.
- Salles, T. T.; Leite, H. C.; Neto, S. N.O; Soares, C. P. B.; Paiva, H. N.E Santos, F. L. 2012. Modelo de Clutter na modelagem de crescimento e produção de eucalipto em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 47, n.2, p. 253-260, fev, doi: 10.1590/S0100-204X2012000200014.
- Santos, D.C., Júnior, R. G., Vilela, L., Maciel, G. A., e De Souza França, A. F. 2018. Implementation of silvopastoral systems in Brazil with *Eucalyptus urograndis* and *Brachiaria brizantha*: productivity of forage and an exploratory test of the animal response. *Agriculture, Ecosystems e Environment*, v. 266, p. 174-180, doi: 10.1016/j.agee.2018.07.017.
- Souza, J. C., Barros, M. D. D., Fernandes, T.R., Rodrigues, L.M., Batista, F. B. 2014. Aplicação Do Ciclo Pdca Em Uma Indústria X Do Setor De Embalagens No Estado De Minas Gerais. Curitiba, PR: XXXIV ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUCAO.
- Streck, N.A.; Alberto, C. M. 2006. Estudo numérico do impacto da mudança climática sobre o rendimento de trigo, soja e milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 41, n.9, p. 1351-1359, doi: 10.1590/S0100-204X2006000900002.
- Teece, D.J., Pisano, G. e Shuen, A. 1997. Dynamic capabilities and strategic management. *Strategic Management Journal*, v. 18, n.7, p. 509-533, <https://www.jstor.org/stable/3088148>.
- Tofoli, E. T., dos Santos, A. P., Tófoli, I., e da Silva, Í. B. 2008. Gestão de melhorias no gerenciamento matricial de receitas para um melhor desempenho. *Revista Gestão da Produção Operações e Sistemas*, (2), 105.

CAPÍTULO 17

EXTENSÃO RURAL E SUAS CONEXÕES COM OS SISTEMAS INTEGRADOS

*Alan Figueiredo de Oliveira; Ângela Maria Quintão Lana; Lúcio Carlos Gonçalves;
Matheus Anchieta Ramirez; Pamella Grossi de Sousa; Frederico Patrus Ananias de
Assis Pires; Rafael Araújo de Menezes; Guilherme Lobato Menezes*

RESUMO

Os sistemas integrados de produção agropecuária apresentam muitos benefícios demonstrados nas literaturas nacional e internacional. Esses sistemas são reconhecidos por melhorarem a produtividade agropecuária concomitantemente aos indicadores econômicos e ambientais. Entretanto, a adoção desses sistemas nas propriedades rurais depende de fatores, como a ocupação agrícola regional, os programas públicos de fomento, a divulgação científica para os produtores, as habilidades dos produtores e extensionistas e a disponibilidade de assistência técnica e de extensão rural (ATER) de qualidade. A formação agrária do Brasil é um dos maiores entraves ao aumento da eficiência produtiva e dos indicadores ambientais do país. Recentemente, a modernização da agricultura brasileira e o surgimento da ATER foram determinantes para o desenvolvimento de modelos altamente especializados. A atuação dos extensionistas nos atuais modelos integrados deve buscar a promoção do bem-estar social, a preservação ambiental, a alta rentabilidade e, principalmente, deve romper com o modelo da exclusiva difusão tecnológica.

INTRODUÇÃO

A formação agrária do Brasil foi marcada por acontecimentos históricos e por políticas públicas que dominaram a posse da terra e da mão de obra. O domínio desses fatores de produção foi responsável pela concentração fundiária ao longo da formação do país. A concentração fundiária é considerada uma das principais determinantes dos baixos índices produtivos e ambientais do país (Martha Junior *et al.*, 2012; Barretto *et al.*, 2013). Além disso, segundo Strassburg *et al.* (2014), a baixa produtividade no Brasil pode ser atribuída ao baixo nível tecnológico utilizado nos sistemas produtivos, à especulação fundiária, à posse insegura da terra e ao déficit da assistência técnica e da extensão rural (Ater). Os sistemas integrados buscam desenvolver formas produtivas mais eficientes,

que sejam capazes de aumentar a produção agropecuária e a preservação ambiental (Balbino *et al.*, 2011).

Esses sistemas de produção agropecuária apresentam muitas vantagens produtivas, ambientais e econômicas em relação aos monocultivos tradicionais. Como principais vantagens, cita-se o aumento ou a manutenção da produtividade animal e vegetal com menor utilização de insumos (Banger *et al.*, 2020; Liu *et al.*, 2020), o aumento dos estoques de carbono no solo e na biomassa aérea (Figueiredo *et al.*, 2016; Oliveira *et al.*, 2020), a menor infestação de pragas (Lal, 2010), a maior diversificação e o aumento de renda (Costa *et al.*, 2017; Thamo *et al.*, 2017), a melhoria da estrutura do solo (Nascimento *et al.*, 2019; Zanatta *et al.*, 2019), a menor emissão de gases do efeito estufa (Campanha *et al.*, 2016; Bretas *et al.*, 2020), a melhoria do bem-estar animal (Pezzopane *et al.*, 2019) e a menor pressão por abertura de novas áreas agrícolas (Leite *et al.*, 2012). Entretanto, se existem vantagens comprovadas dos sistemas integrados em comparação aos monocultivos, quais motivos dificultam a ampla utilização dos sistemas integrados no Brasil? A resposta para essa pergunta é complexa por envolver diversas questões, como a estrutura agrária, as políticas públicas de fomento, a formação de pesquisadores e os aspectos culturais de produção. Um fator que parece ser crucial para a melhoria da implantação desses sistemas é aprimorar a quantidade e a qualidade da ATER prestada aos produtores nacionais.

A ATER foi criada no Brasil a partir de 1940 e reestruturada durante a modernização da agricultura, ocorrida a partir de 1960. Durante essa modernização, os extensionistas foram formados com a perspectiva de difundir o crédito rural subsidiado e os pacotes tecnológicos provenientes da Revolução Verde. Esse modelo de extensão, denominado de difusionismo, entrou em falência após o fim do subsídio agrícola, na década de 1980, por não ponderar aspectos culturais regionais e, principalmente, por não priorizar os produtores como participantes fundamentais no processo de desenvolvimento rural. Devido às falhas desse modelo, novas práticas de extensão rural, pautadas no desenvolvimento humano, no diálogo aberto e democrático e no desenvolvimento sustentável, precisam ser valorizadas e priorizadas durante a abordagem de sistemas produtivos (Altieri, 2004; Gonçalves *et al.*, 2019).

A participação dos produtores rurais no processo de produção e de divulgação científica é fundamental para que a pesquisa nacional seja eficiente em produzir conhecimentos e tecnologias aplicáveis no contexto cotidiano dos sistemas produtivos. Além da participação na produção de conhecimento, os produtores precisam ser

valorizados no processo de ATER como atores essenciais da promoção de melhorias produtivas e ambientais da agropecuária brasileira. Objetivou-se neste capítulo descrever os principais aspectos da formação agrária e da extensão rural relacionados com os sistemas integrados de produção agropecuária.

FORMAÇÃO AGRÁRIA DO BRASIL E SUA RELAÇÃO COM OS SISTEMAS INTEGRADOS

Modernização da agricultura brasileira

A modernização da agricultura brasileira, denominada de Modernização Conservadora, foi desenvolvida entre 1965 e 1979 e tinha como princípio a oferta de crédito rural altamente subsidiado, os investimentos públicos em empresas de pesquisa e o fornecimento de assistência técnica gratuita. Porém, todas essas benesses ofertadas pelo Estado priorizaram os grandes produtores, para que esses pudessem investir na compra de tecnologias, de implementos e de insumos agrícolas, o que aumentou ainda mais a desigualdade social (Martine, 1991). Os principais resultados dessa primeira fase da modernização foram a concentração fundiária e de renda, o êxodo rural, a urbanização desordenada e precária e a segregação social, setorial e espacial.

A crise do capitalismo mundial, na segunda metade dos anos de 1970, colocou fim à Modernização Conservadora em 1979. Entre 1980 e 1984, o cenário econômico nacional era de crise e retração. Nesse período, os preços internacionais das *commodities* agrícolas caíram. O Estado criou um sistema de compra a preço mínimo e impediu que o setor tivesse redução drástica em sua remuneração. Como política de incentivo, houve drástica redução no número de beneficiados pelo crédito rural, porém os juros passaram a ser ainda menores, e os montantes individuais de empréstimos ainda maiores. As políticas decisivas do período foram as maxidesvalorizações cambiais. Essas desvalorizações enfraqueceram a moeda nacional, com forte incentivo à exportação de nossos produtos e o aumento momentâneo da lucratividade do setor. A maxidesvalorização cambial trouxe a inflação como efeito colateral, mas permitiu grande lucratividade para o setor no período. Com essas ações, o governo conseguiu garantir o bom desempenho da agricultura, com aumento da lucratividade dos setores de exportação e elevação da oferta interna e externa de produtos.

A terceira fase da modernização aconteceu no período de 1985 a 1989. O subsídio governamental para a agricultura foi reduzido gradativamente e os produtores foram obrigados a aumentar a eficiência produtiva. Assim, mesmo com um cenário econômico externo desfavorável, aconteceu uma sequência de supersafras.

Anos 90 e 2000

Os anos 1990 e 2000 são marcados pela instalação de governos neoliberais. A característica desses governos é a ausência do Estado em um momento de abertura da economia e de fortalecimento da moeda nacional. A principal política voltada para o meio rural é a ausência de política agrícola. As intervenções aconteceram apenas no quadro macroeconômico, por meio do fortalecimento ou do enfraquecimento da moeda nacional. Com o aumento da competitividade com mercados internacionais, a produção de *commodities* vinculadas à exportação, como cana-de-açúcar, soja, eucalipto, milho e laranja, aumentou. Essas passaram a ser produzidas em larga escala, com elevado grau de mecanização e forte integração de capitais.

A concentração da terra em grandes propriedades muitas vezes é uma das principais causas da baixa eficiência produtiva e dos fracos indicadores ambientais do Brasil. O desenvolvimento rural brasileiro precisa estar associado à intensificação da utilização da terra para fins produtivos. O uso da terra com baixos índices produtivos em grandes latifúndios e a utilização da terra para especulação fundiária são empecilhos ao desenvolvimento rural sustentável e à visibilidade da agropecuária nacional no mercado internacional.

A legislação brasileira pode e precisa atuar com o foco na regularização do desempenho produtivo das terras agrícolas do país. A ocupação de terras agrícolas para fins não agrícolas reduz a produção agropecuária e de riquezas no país. Outro aspecto negativo dessa improdutividade na economia é o tratamento internacional da agropecuária brasileira de forma pejorativa, em razão dos indicadores ambientais do país.

PRODUTIVISMO E NEOPRODUTIVISMO E SUAS RELAÇÕES COM OS SISTEMAS INTEGRADOS

A lógica capitalista implementada após a Revolução Industrial levou a uma nova ordem na produção mundial com a criação de linhas de produção, a especialização, a maximização da utilização da mão de obra e o aumento da eficiência produtiva. Esse novo modelo de produção resultou na padronização de processos e de produtos com o fortalecimento das escalas de produção. A produção em escala aumentou o volume de produção, a padronização e a qualidade de produtos, além de elevar a rentabilidade do capital.

Na agropecuária, foi a partir da Segunda Guerra Mundial que esse modelo ganhou destaque na produção de alimentos para as nações arrasadas pela guerra, em uma proposta de industrialização para a recomposição econômica. Com o fim da guerra, os avanços

tecnológicos da indústria bélica ficariam ociosos. Parte dessas indústrias se transformaram em produtoras de tecnologias agrícolas. O conhecimento científico gerado nesse período passou a ser utilizado para pesquisas agropecuárias envolvendo melhoramento genético de culturas e de animais, com objetivo de elevar a produtividade. Essa revolução produtiva passou a definir a produção agropecuária, os insumos e as máquinas a serem utilizadas e a forma de comercialização, dando origem a um modelo de produção chamado produtivismo.

O produtivismo pode ser considerado uma ideologia que sempre objetiva o aumento da produção por meio da produtividade, geralmente pela incorporação de novas tecnologias. Essa doutrina tende a enfrentar as questões do setor rural sempre no âmbito produtivo e a tratar de forma reducionista todas as questões de ordens tecnológicas, econômicas, ambientais, climáticas, culturais e de inserção aos mercados.

Revolução Verde

A Revolução Verde foi o resultado do conjunto de inovações tecnológicas que possibilitou o aumento significativo da produtividade agrícola após a Segunda Guerra Mundial. Essa revolução foi pautada em cinco pilares básicos: o tratamento científico da produção agropecuária, o melhoramento genético para aumento da produtividade, a quimificação dos sistemas (com a utilização de adubos, agrotóxicos, medicamentos veterinários), a mecanização e a motorização.

A Revolução Verde se desenvolveu na forma de pacotes tecnológicos. Nesse contexto, os produtores eram incentivados a adquirir todas as tecnologias necessárias para a implementação de um sistema de produção para que a produção máxima fosse alcançada. Os pacotes tecnológicos levaram à especialização da produção rural, que, aliada ao aumento de produtividade, fez com que os produtores se dedicassem apenas à produção. A difusão da Revolução Verde, embora em momentos diferentes para os diferentes países, contribuiu para que os sistemas agropecuários implementados em todo o mundo fossem semelhantes (Dufumier e Couto, 1998). Essa lógica gerou inúmeros problemas de ordem social, econômica e ambiental em várias partes do planeta. Dentre esses problemas, destacam-se a concentração de renda, a disseminação da pobreza no meio rural, a redução da margem de lucro da agropecuária, a contaminação dos recursos hídricos e o aquecimento global.

A extensão rural desenvolvida no Brasil iniciou em meio à expansão dos pacotes tecnológicos da Revolução Verde fundamentados pela ideologia produtivista. Os profissionais das ciências agrárias foram – e muitos ainda são – formados com base na

lógica produtivista para promoverem a simples difusão de conhecimentos e tecnologias. Assim, os profissionais passam a difundir pacotes tecnológicos e insumos agroindustriais e os produtores são tratados como objetos que podem ser transformados, manipulados e influenciados.

Crise do produtivismo

O produtivismo entrou em crise na década de 1980 e foi superado em alguns países desenvolvidos (Dufumier e Couto, 1998). Os determinantes para o questionamento e a posterior crise foram os impactos de ordem social, econômica e ambiental. Nos países de capitalismo periférico como o Brasil, o produtivismo é criticado, porém não entra em crise. Assim, continua a ser a ideologia dominante para a produção agropecuária.

O determinante para a crise do produtivismo nos países ricos são os impactos sociais. A degradação ambiental também é um dos fatores que sensibilizaram essas sociedades em busca de modelos alternativos de produção. Os impactos sociais gerados pelo produtivismo são relacionados à concentração da posse da terra e da renda, ao fortalecimento do latifúndio, à queda de eficiência na aplicação de recursos financeiros na agricultura, aos desvios de recursos para outras aplicações, à queda na eficiência técnica, na produtividade e na renda, ao aumento do subemprego, do desemprego e do êxodo rural, ao aprofundamento das desigualdades sociais e regionais e à deterioração na qualidade de vida das populações (Dufumier e Couto, 1998).

A artificialização do meio, proposta pelo produtivismo, naturalmente levou a impactos ambientais. A degradação da estrutura física do solo em razão do peso e do uso intensivo de máquinas e de equipamentos, bem como a compactação dos solos, são impactos gerados pelo modelo produtivista. Como impacto direto da quimificação, tem-se a contaminação dos cursos d'água, de alimentos e do ar devido ao uso indiscriminado de agrotóxicos e de adubos químicos. A supressão radical de árvores nos campos de cultivo para maior eficiência no uso de máquinas e na aviação agrícola é outro impacto ambiental. Aliado a todos esses fatores, a utilização inadequada de algumas áreas proporciona a redução dos mananciais d'água e a erosão. O manejo inadequado do solo determina o assoreamento dos cursos d'água, a redução do lençol freático e a extinção de espécies nativas.

Neoprodutivismo

O questionamento e a crise do produtivismo impulsionaram o surgimento de uma nova ideologia envolvendo a produção agropecuária, denominada de neoprodutivismo. O neoprodutivismo foi implementado em países desenvolvidos após a crise dos sistemas

produtivistas na década de 1980. Essa ideologia produtiva, que nega completamente o produtivismo, busca produtos saudáveis, livres de agrotóxicos, sustentáveis e que não causem impactos ambientais, sociais e econômicos negativos. Porém, diferentemente do produtivismo, essa lógica não busca a padronização dos processos e produtos, nem mesmo a uniformidade nos objetivos da produção.

Os sistemas mundiais que integram diferentes espécies arbóreas, animais e vegetais podem ser considerados tecnologias neoprodutivas. Esses sistemas, como as agroflorestas e as integrações entre lavoura e pecuária, objetivam a produção de gêneros de melhor qualidade, com maior valor agregado e com menor impacto ambiental. No Brasil, a distribuição desigual de renda e o baixo nível educacional da população são empecilhos para a maior promoção dos sistemas integrados neoprodutivistas. Enquanto os níveis educacionais e econômicos da população brasileira se mantiverem no atual *status*, dificilmente o país passará por transformações profundas nos seus sistemas de produção com o objetivo de promover a melhoria dos indicadores produtivos e ambientais.

SURGIMENTO DA EXTENSÃO RURAL NO BRASIL E SUA RELAÇÃO COM OS SISTEMAS INTEGRADOS

A ATER surgiu a partir da década de 1940 e se estruturou durante a modernização agrícola brasileira na década de 1960. A ATER foi um dos pilares do modelo de desenvolvimento implantado no país e funcionava como agente facilitador para elaboração dos projetos e liberação dos financiamentos. Entretanto, esse modelo de extensão rural seguiu a base difusionista e propunha a transferência vertical de conhecimentos. Nesse modelo, os extensionistas tinham a função de difusão tecnológica e impunham qual inovação deveria ser implementada nos sistemas produtivos.

A aproximação entre Estados Unidos e Brasil no contexto da Segunda Guerra Mundial foi um marco importante para o início da extensão rural no Brasil. O momento pós-guerra marcou a fundação do Plano Marshall, em 1947, para a reconstrução dos países do capitalismo. Essa política buscava a integração dos capitais norte-americanos às economias capitalistas em todo o mundo. Um dos desdobramentos dessa política foi a criação da extensão rural no Brasil, sob o modelo norte-americano.

A extensão rural oficial no Brasil iniciou no final da década de 1940, com a criação da Associação de Crédito e Assistência Rural (ACAR), em um plano de expansão das atividades do empresário Nelson Rockefeller. O início desse processo foi fundamentado na criação de um sistema de oferta de crédito rural, assistência técnica e

implantação de indústrias para a produção de insumos e tecnologias agropecuárias. Para sua ação no continente latino-americano, o empresário criou dois grupos empresariais, a AIA (Associação Internacional Americana para o Desenvolvimento Econômico e Social) e o IBEC (Corporação Internacional Econômica Básica). A AIA era uma empresa sem fins lucrativos, desenvolvida para financiar os projetos sociais ligados ao grupo Rockefeller, e o IBEC era uma empresa com fins lucrativos, que se destinava a fundar empresas que produzissem tecnologias e insumos agropecuários. Dessa forma, a AIA financiava a ACAR, e esta elaborava projetos de liberação de crédito rural. Além disso, a ACAR tinha a função de indicar tecnologias e incentivar a abertura de mercado para produtos agropecuários. O IBEC, por meio dos investimentos de Nelson Rockefeller, promoveu inúmeras ações em universidades federais, para o desenvolvimento de tecnologias destinadas à produção rural.

A tríade formada pelas instituições de Nelson Rockefeller criou conexões e interdependências entre si. A AIA fornecia recursos financeiros para a ACAR; esta, por sua vez, fornecia assistência técnica, difusão de tecnologias e crédito para os produtores e os convencia a comprar tecnologias das empresas ligadas ao grupo IBEC. Criou-se um sistema de oferecimento de assistência técnica que garantia a compra das tecnologias e de produtos industrializados (Fonseca, 1985).

Em 1956, o governo brasileiro entrou no sistema de extensão rural, com a criação da Associação Brasileira de Crédito e Assistência Rural (ABCAR), que assumiu a gerência do sistema de extensão rural no Brasil. Em 1974, o governo Ernesto Geisel nacionalizou o sistema de extensão rural. A ACAR foi transformada na Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural (EMATER), que tinha a função de executar a extensão na esfera local. A ABCAR foi transformada na Empresa Brasileira de Assistência Técnica e Extensão Rural (EMBRATER), que gerenciava as demandas de extensão e garantia os recursos para execução da extensão pelas unidades locais. Foi criado também o Sistema Brasileiro de Assistência Técnica e Extensão Rural (SIBRATER), que pensava e propunha atualizações para a extensão rural no país. Nesse período, houve um aumento significativo dos recursos financeiros devido à disponibilidade de crédito rural da modernização da agricultura. Nesse contexto, o extensionista assumiu papel fundamental na difusão de tecnologias e do crédito rural para os produtores rurais.

No modelo de extensão implantado inicialmente no Brasil, o extensionista era considerado competente conforme sua capacidade de convencer ou de difundir

tecnologias. O extensionista apenas necessitava saber convencer os produtores a adotarem os pacotes tecnológicos e obterem o crédito rural. Essa forma de atuação pautada na difusão de pacotes tecnológicos desconsiderava todos os aspectos culturais regionais, edafoclimáticos, sociais e econômicos. Assim, esse sistema de extensão auxiliou na geração de impactos negativos, como problemas ambientais, degradação cultural do meio rural, aumento da desigualdade social e insucessos produtivos, entre outros. Por isso, após o fim do aporte de crédito rural subsidiado para o campo, na década de 1980, esse sistema foi duramente criticado e entrou em crise.

A crise do crédito rural e da extensão rural na década de 1980 é um reflexo da crise do capitalismo mundial. Naquela época, os extensionistas rurais ficaram desprovidos de sua principal função de difundir tecnologias por meio do fornecimento de crédito rural subsidiado. Após a extinção do crédito rural, a extensão rural passou a ser questionada devido aos seus modestos resultados produtivos e aos amplos impactos ambientais e sociais negativos gerados.

Na década de 1990, durante o governo de Fernando Collor de Melo, a EMBRATER e o SIBRATER deixam de atuar. O sistema de planejamento, de organização e de subsídio da extensão rural foi amplamente desorganizado. Como resultado, restaram apenas os órgãos executores locais que, sem recursos, tiveram suas atividades reduzidas. Durante a década de 1990, os movimentos sociais de luta pela posse da terra ganham força e passam a exigir um novo sistema de extensão rural e de políticas públicas que fosse voltado para o atendimento da agricultura familiar. Essa pressão popular desaguou na criação do Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (PRONAF) e, anos mais tarde, na Política Nacional de Assistência Técnica e Extensão Rural (PNATER), que propôs diretrizes e princípios para a reorganização do sistema de extensão rural.

A ATER em sistemas integrados precisa romper com o modelo da simples difusão tecnológica. Os extensionistas não devem tratar os sistemas integrados como modelos padronizados, como aconteceu com os pacotes tecnológicos durante o surgimento da ATER no Brasil. Os sistemas integrados são muito diversificados e permitem inúmeras combinações e adaptações de acordo com as propriedades atendidas. Assim, os proprietários devem ser tratados como participantes principais na discussão dos aspectos tecnológicos desses sistemas, bem como na sua adoção. Portanto, a atuação dos extensionistas nos sistemas integrados demanda grande qualificação técnica e superação do modelo difusionista.

DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA E OS SISTEMAS INTEGRADOS

A atuação dos profissionais das ciências agrárias como extensionistas demanda *expertise* técnica em diversas áreas do conhecimento. A construção desses conhecimentos teóricos e práticos acontece na formação acadêmica do profissional e na atualização constante para enfrentamento de demandas dos produtores. A produção de pesquisa científica e de inovações tecnológicas no Brasil acontece, principalmente, nas universidades públicas e nas empresas estatais e privadas de pesquisa. Os resultados dessas pesquisas são publicados em diversos formatos. De modo geral, as publicações científicas são veiculadas em revistas científicas internacionais, de acesso restrito ao meio acadêmico, passando pelas publicações de artigos técnicos e de livros até formatos que possam atingir a sociedade de forma mais ampla, como os programas de rádio e de televisão (Albagli, 1996; Gonçalves *et al.*, 2016).

A pesquisa científica no Brasil geralmente objetiva a descoberta de informações específicas, o desenvolvimento de inovações tecnológicas e valoriza publicações em língua estrangeira, em periódicos reconhecidos mundialmente. Por outro lado, a extensão rural busca promover o bem-estar das populações do meio rural e os impactos positivos nos sistemas produtivos. Assim, a extensão rural tem a função de tratar e adaptar as informações publicadas em meios mais complexos para que estas atinjam diretamente a sociedade em geral de forma mais efetiva (Prado e Ramirez, 2011).

As pesquisas científicas e as inovações tecnológicas, que geram informações básicas e específicas, comumente são publicadas no formato de artigo científico. Esses artigos são ranqueados internacionalmente e os mais relevantes são publicados em língua inglesa e em revistas internacionais. Devido a essa característica, não é raro que essas publicações enfoquem temas valorizados mundialmente. Porém, em razão da heterogeneidade produtiva dos países, essas publicações podem não atender aos problemas reais dos países de origem dos pesquisadores. A produção de artigos de revisão parte da análise de informações contidas em vários artigos científicos. Esses artigos de revisão são visões mais gerais de um determinado assunto e possibilitam visão mais abrangente de uma temática específica.

Os livros se propõem a discussões mais abrangentes de uma temática. Utilizam fontes de informação, como artigos científicos, artigos de revisão, e o conhecimento tácito de seus autores. Os artigos de divulgação ou artigos técnicos têm por objetivo a discussão geral de determinado assunto. As fontes de informações dos artigos de divulgação são os artigos científicos, os artigos de revisão e os livros, além do conhecimento tácito dos

autores. Nesse sentido, as revistas técnicas se propõem a congregar diversos artigos técnicos, abrangendo vários assuntos relacionados ao tema.

Os eventos científicos são locais de encontros de pesquisadores, de especialistas e de técnicos. Esses eventos têm como função a divulgação parcial de pesquisas, o contato entre especialistas e a análise de questões gerais e específicas que envolvem aquela área de conhecimento. Os dias de campo, as reuniões comunitárias, o treino e a visita, entre outras técnicas de comunicação, têm a particularidade de adaptar as informações divulgadas nos formatos descritos acima para que estas possam ser compreendidas por produtores rurais. Portanto, esses meios de divulgação apresentam a particularidade de adaptação do discurso científico, para que este possa ser compreendido pelo público rural. Os programas de televisão e de rádio, os *sites* na internet e as redes sociais também são formas de divulgação científica que permitem que as informações sejam tratadas para o entendimento da sociedade em geral.

O percurso entre a descoberta de novas informações pela pesquisa científica e sua utilização pela sociedade é complexo. Alguns fatores, como o idioma de publicação, os custos e os meios de acesso à informação, o interesse de busca por novos conhecimentos por parte de produtores e de técnicos e o interesse de pesquisadores, dificultam o acesso da sociedade às inovações. Dessa forma, o extensionista deve conhecer esses fatores que influenciam a divulgação de informações para melhorar a utilização destas pela sociedade. Além disso, os pesquisadores também podem contribuir para a democratização do acesso às informações geradas pela pesquisa pública brasileira. A ampliação de eventos e de publicações, que tenham a sociedade geral como público-alvo, é um exemplo de ação capaz de aumentar o volume de informações disponíveis para a sociedade.

O extensionista faz, portanto, a ligação entre o conhecimento científico e sua utilização pelos produtores rurais, função que exige que ele domine os conhecimentos técnicos e as demandas dos produtores. Tais habilidades possibilitam que o extensionista discuta com os produtores a utilização personalizada desses conhecimentos de acordo com os sistemas de produção. Logo, a discussão desse conhecimento científico considerando os anseios dos produtores pode melhorar os resultados técnicos e produtivos das propriedades, bem como ampliar o alcance das ações do extensionista, visto que melhora os processos produtivos cotidianos.

Nesse sentido, o profissional de ciências agrárias que deseja atuar como extensionista rural deve constantemente atualizar seus conhecimentos técnicos e seus processos metodológicos de extensão rural. Essa qualificação permite que o extensionista

supere a função de apenas difundir novas tecnologias e consiga atuar na melhoria produtiva dos sistemas de produção juntamente com os produtores. Além disso, os extensionistas precisam ter qualificação multidisciplinar para lidar com os problemas cotidianos dos produtores, que muitas vezes transcendem os aspectos técnicos. Portanto, é necessário entender todos os fatores – produtivos e não produtivos – que interferem no sistema de produção para melhorar os resultados obtidos pelas ações de extensão no meio rural.

Os sistemas integrados são reconhecidos como capazes de promover aumento da produtividade por área simultaneamente com a preservação ambiental. Devido a essa característica, os sistemas integrados vêm sendo amplamente estudados e pesquisados nas últimas décadas em todo o mundo. Essas pesquisas geram um grande volume de publicações e informações acerca desses sistemas e são publicadas em diversos formatos, mas principalmente em artigos científicos. Nesse contexto, a divulgação de artigos técnicos e a organização de eventos técnico-científicos são fundamentais para promoção e democratização do conhecimento técnico. Além disso, a atuação dos extensionistas com o objetivo de promover o compartilhamento dessas informações de forma mais simples é essencial para aumentar o alcance dessas informações e tecnologias no meio agropecuário (Garrett *et al.*, 2017).

No Brasil, as universidades públicas e privadas, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), as empresas privadas de ATER e os órgãos e empresas públicas de ATER são fundamentais para ampliar a divulgação científica. Essas entidades são responsáveis por fazer com que as informações geradas pela pesquisa científica sejam capazes de promover melhorias nos sistemas produtivos. As universidades, principalmente as públicas, são responsáveis pela produção de pesquisa científica e pela divulgação das informações para a sociedade, por meio de projetos e ações de extensão universitária. As diferentes unidades da Embrapa têm protagonismo na produção de informações acerca dos sistemas integrados. Além das ações de pesquisa, essas unidades também promovem ações de ATER para a divulgação de informações. Entre essas ações, destaca-se a promoção de eventos técnicos, como palestras e dias de campo, a organização das unidades de referência técnica (URT) e as divulgações de artigos técnicos. Os órgãos que realizam a ATER, por sua vez, são os principais encarregados de possibilitar que o conhecimento científico chegue aos sistemas produtivos reais. Esses órgãos deveriam apresentar estrutura e recursos humanos para atender às propriedades no âmbito local e

atuar como protagonistas na divulgação dos sistemas integrados, bem como promover sua real adoção no país.

DIAGNÓSTICO DE SITUAÇÃO EM SISTEMAS INTEGRADOS

O agronegócio brasileiro ocupa posição de destaque na economia nacional e se configura como grande mercado para a ATER. Porém, a ATER deve ser adequada para o atendimento aos sistemas produtivos e às necessidades dos produtores. A atuação da extensão rural pública deve priorizar metodologias grupais, comunitárias e participativas. Entretanto, muitas vezes, na extensão pública, há demandas de assistência técnica individual. Já a assistência técnica privada aos sistemas produtivos geralmente ocorre com o atendimento individual das propriedades. O trabalho de assistência e de orientação técnica individual deve ser precedido do diagnóstico de situação da propriedade rural. Tal diagnóstico é uma metodologia que consiste no levantamento dos aspectos produtivos, ambientais, econômicos e sociais que influenciam a produção agropecuária. Essa abordagem holística dos sistemas produtivos permite o entendimento dos problemas enfrentados pela propriedade e, a partir disso, traça planejamento produtivo de curto, de médio e de longo prazo (Moraine *et al.*, 2016).

O diagnóstico de situação objetiva conhecer o funcionamento do sistema de produção. Nesse processo, busca-se conhecer a propriedade, seus aspectos edafoclimáticos, área, histórico, uso do solo, cultura local e utilização produtiva (Calzavara, 1981). Durante o diagnóstico, também são abordados aspectos humanos e gerenciais, aspectos produtivos, como os recursos naturais, as instalações existentes, o manejo, a gerência da propriedade, as movimentações financeiras, a inserção nos mercados, a compra de insumos e os problemas enfrentados. O entendimento de todos esses fatores é fundamental para que se compreenda o funcionamento e as questões enfrentadas pela propriedade rural (Prado e Ramirez, 2011).

Durante o diagnóstico, o extensionista deve sempre utilizar metodologia de trabalho que rompa com possíveis desníveis que existam entre o proprietário, os funcionários e os demais envolvidos na produção, para que esses respondam de forma fidedigna os questionamentos. O extensionista deve analisar a realidade observada na propriedade e verificar se as informações relatadas estão de acordo com as observadas e sempre buscar mais informações, se necessário. Nesse momento, é importante atentar para o fato de que, em algumas ocasiões, os produtores não possuem as informações precisas ou respondem o que eles imaginam que deveria ser respondido, e não a realidade.

Os extensionistas geralmente utilizam questionários pré-formulados durante o diagnóstico de situação. Porém, não se deve traçar roteiro rígido de aplicação, pois normalmente são necessárias adaptações para adequação aos diversos sistemas produtivos. O mais importante é a abordagem integral da propriedade e o levantamento do funcionamento, dos problemas e das virtudes do sistema avaliado.

Terra, trabalho e capital

Todos os sistemas produtivos estão alocados em uma determinada área, e, por isso, é essencial que o técnico consiga perceber as características intrínsecas do solo da propriedade. O conhecimento dessas características, como fertilidade, histórico de utilização, topografia, presença de manchas de fertilidade, profundidade, textura e vegetação nativa, é o passo inicial para o diagnóstico de situação.

O conhecimento das características do trabalho, como a disponibilidade de mão de obra, a capacidade de interação dos agentes envolvidos, a remuneração, a eficiência da mão de obra, a escolaridade, os problemas de relacionamento, as condições de vida, as condições de moradia e os aspectos culturais, é relevante para o entendimento das condições de trabalho na unidade. A valorização da mão de obra dos funcionários como integrantes dos sistemas produtivos atua como fator de estímulo à cooperação para o sucesso da propriedade.

A disponibilidade de capital para investimento é outro fator importante para identificar quais as soluções mais adequadas aos problemas enfrentados na propriedade. A comparação dos índices produtivos da terra, do trabalho e do capital específicos da propriedade com os dados locais, regionais e internacionais é uma estratégia que possibilita confrontar a eficiência da propriedade e diagnosticar possíveis pontos limitantes da produção.

Dados da propriedade

Uma etapa importante do diagnóstico de situação é apurar, junto ao produtor e aos funcionários, as informações atuais e históricas da propriedade. Essas informações fornecidas sobre a propriedade, assim como as observações realizadas durante o diagnóstico, geram apontamentos que permitem ao extensionista inferir, de forma indireta, as experiências produtivas e culturais que envolvem a produção, a utilização e o manejo dos solos, as condições das instalações e os recursos disponíveis. Outra informação relevante sobre a propriedade é conhecer suas estratégias de inserção no mercado para compra de insumos e venda de produtos. Essas características influenciam

de forma incisiva no desempenho econômico dos sistemas produtivos e podem ser trabalhadas pelos extensionistas para melhorar a eficiência da produção.

Outras características que interferem no modo de atuação do extensionista são as condições geográficas de acesso e a localização das propriedades. A localização pode interferir na inserção de produtos nos mercados locais e regionais e na compra de insumos. Portanto, a avaliação da localização da propriedade é imprescindível no estabelecimento de estratégias produtivas e comerciais de propriedades rurais. As condições edafoclimáticas, como as temperaturas mínima, média e máxima, o índice pluviométrico, a distribuição das chuvas durante o ano, a presença de nascentes, as características dos solos, a intensidade e a direção dos ventos, a duração das estações do ano e a ocorrência de geadas, também influenciam diretamente a eficiência dos sistemas produtivos. A avaliação dessas condições edafoclimáticas permite que o extensionista defina, juntamente com o produtor, as culturas, as variedades e as raças utilizadas, bem como as características das instalações, o planejamento nutricional, o combate e a prevenção a doenças.

Os planejamentos e os monitoramentos técnico-produtivos e econômicos são pontos pouco trabalhados na maioria das propriedades agropecuárias. O planejamento das ações e dos resultados desejados em curto, em médio e em longo prazo atua como um facilitador para que a propriedade atinja seus objetivos. Sem a determinação de objetivos claros e das etapas e ações para atingir esses objetivos, não é possível saber se os anseios dos produtores estão ou não sendo atendidos. O monitoramento, por sua vez, por meio de indicadores produtivos e econômicos, permite perceber a eficiência das ações executadas e dos resultados alcançados, diagnosticar a existência de inconsistências e programar ações corretivas.

Dados do proprietário

O conhecimento das características do proprietário auxilia o extensionista a guiar sua forma de realização do diagnóstico de situação e o planejamento das ações da propriedade. Entre essas características, as informações de tipologia social da propriedade (patronal ou familiar), a motivação para o desenvolvimento da produção, os objetivos, o planejamento para a propriedade, o nível de instrução e a escolaridade do proprietário e de familiares, a experiência acumulada na atividade e o histórico de sucesso ou fracasso em outras atividades permitem que o extensionista entenda quais são os resultados desejados e o perfil de atuação do produtor. A identificação desse perfil possibilita que o extensionista adeque as informações utilizadas, conheça a relação do produtor com a

propriedade e identifique as áreas em que o produtor apresenta maior conhecimento e aquelas de maior dificuldade, bem como as atividades que o produtor reconheça como exitosas ou não. Tal adequação na forma de atuação, considerando-se as características do produtor, permite que o extensionista ajuste suas ações a cada propriedade e melhore os resultados produtivos.

Mão de obra

Atualmente algumas das maiores dificuldades das propriedades patronais ou daquelas que necessitam complementar a mão de obra familiar são referentes à qualificação e ao rendimento dos trabalhadores rurais. Não é incomum haver descontentamento compartilhado por proprietário e por funcionários, situação responsável, em boa parte, pelo insucesso de muitos sistemas produtivos. Os funcionários fixos e temporários devem ser considerados e respeitados como atores indispensáveis para a obtenção do sucesso produtivo, econômico e ambiental em uma propriedade rural. Nesse contexto, é fundamental se preocupar com as condições de vida do funcionário e da sua família, manter um bom relacionamento entre a equipe, compartilhar os objetivos, o planejamento e o plano de ação da propriedade, realizar treinamentos técnicos e de atualização e valorizar os funcionários como integrantes do sistema produtivo. Especial atenção deve ser dada à remuneração e aos sistemas de folgas adotados; além de ser necessário em uma relação de trabalho, o bom tratamento dispensado aos funcionários aumentando-lhes a satisfação.

Planejamento e gestão da propriedade

Durante o diagnóstico de situação, devem-se reunir informações sobre o planejamento técnico-produtivo e as estratégias da propriedade: como é realizada a coleta e gestão das informações, como é feita a gestão financeira, como tem sido a evolução da produção nos últimos anos, como foi o planejamento inicial da atividade, quais as metas do proprietário, qual a disponibilidade de recursos e qual a disponibilidade de mão de obra. Essas informações possibilitam que o extensionista perceba qual o nível organizacional da propriedade e estabeleça um plano de gestão adequado e factível para a propriedade, de acordo com os anseios do proprietário.

A gestão dos sistemas produtivos é realizada por índices. Os índices zootécnicos são ferramentas que auxiliam o diagnóstico, o monitoramento e a proposição de mudanças na organização técnica, produtiva e econômica da propriedade (Lima, 1995; Miguel, 2010). Para obtenção desses índices, a coleta de dados é um processo primordial. O ideal é estabelecer a coleta diária de dados como rotina da propriedade. Cuidado especial deve

ser tomado nessa fase, uma vez que todo o processo de gestão depende da qualidade da coleta de dados e da produção de índices agropecuários úteis e confiáveis.

No diagnóstico deve-se levantar os principais índices técnicos ou de produtividade alcançados na propriedade. Posteriormente, deve-se conhecer como esses índices são determinados, como têm variado ao longo dos anos e como variam durante o mesmo ano agrícola. Essas informações podem evidenciar a necessidade de determinar outros índices técnicos, de coletar mais dados, de adequar os métodos de coleta e análise de dados e de melhorar os próprios processos de gestão.

Comercialização

A interação com os mercados na compra de insumos e na venda de produtos determinará todo o quadro econômico da atividade agropecuária. Sabe-se que a eficiência comercial pode determinar o sucesso ou o insucesso nos resultados dos sistemas de produção. Dessa forma, as análises das estratégias comerciais, do planejamento comercial, dos mercados, da inserção dos produtos nesses mercados e as possíveis alternativas de compra e venda de produtos é uma etapa indispensável durante o diagnóstico de situação. Após a análise e a discussão da comercialização com o proprietário, o extensionista deve avaliar, junto àquele, se há alternativas para melhorar a inserção comercial da propriedade.

Outras informações importantes

Ao final dos questionamentos relacionados aos aspectos técnicos, produtivos e econômicos de todos os segmentos da propriedade, o extensionista deve interpretar o sistema produtivo. Para que a atividade de assistência técnica seja realmente efetiva, é necessário que se pergunte aos envolvidos na produção quais são os principais problemas do sistema e os maiores entraves para a produção. Esse momento é fundamental para que se possa refletir sobre a realidade da propriedade e os fatores que impedem o melhor desempenho dela.

Análise do diagnóstico de situação e planejamento

A última etapa do diagnóstico de situação é a sua análise e o planejamento da propriedade em curto, em médio e em longo prazo. Após o levantamento das condições estruturais da propriedade, das pessoas envolvidas, das estratégias comerciais e dos seus procedimentos técnicos, o extensionista deve ser capaz de identificar, de apresentar e de propor discussão acerca dos principais problemas e entraves ao desempenho da propriedade. Esses problemas podem estar ligados ao manejo do sistema produtivo, à mão de obra, à estratégia comercial ou a outros fatores. Os problemas encontrados no setor

agrário brasileiro são diversos e demandam bases teóricas consolidadas em diversas áreas, como economia, política, sociologia rural, antropologia, extensão rural, zootecnia, agronomia e medicina veterinária. Além disso, o enfrentamento dos problemas do meio rural exige que o extensionista se atualize constantemente e busque novas informações.

Após a realização do diagnóstico de situação, deve ser estabelecido o planejamento da propriedade para curto, médio e longo prazo. As ações para o alcance dos objetivos e das metas devem ser exequíveis e de conhecimento de todos os atores envolvidos no processo produtivo. O compartilhamento da tarefa de construção do planejamento entre todos os envolvidos é fundamental por estabelecer ações a serem realizadas, integrar os envolvidos como parte do empreendimento e melhorar a qualidade dos resultados atingidos.

O planejamento de curto prazo busca resolver os problemas mais simples da propriedade, como realocação mais eficiente de recursos existentes, venda de animais ou equipamentos improdutivos, substituição de culturas; ou seja, esse planejamento estabelece ações simples, menos onerosas e que produzam resultados rápidos. O planejamento de médio e longo prazo busca resolver problemas mais complexos da propriedade, como mudança das instalações, compra de equipamentos, mudança do padrão genético dos animais, implantação de áreas de lavoura e mudanças de atividade produtiva.

ATER EM SISTEMAS INTEGRADOS

Os sistemas integrados de produção agropecuária apresentam muitos benefícios em comparação às monoculturas, conforme amplamente reportado na literatura internacional. Entretanto, a porcentagem de ocupação das terras agrícolas no Brasil e no mundo com os sistemas integrados ainda é discreta. O caminho entre a pesquisa sobre os sistemas integrados e seus manejos até sua implementação efetiva nas propriedades envolve muitos profissionais e fatores que afetam a produção agropecuária. Entre esses profissionais, os extensionistas apresentam a função-chave de fazer com que os conhecimentos produzidos nos centros de pesquisa cheguem aos sistemas produtivos e neles produzam efeito. Segundo Murgueitio *et al.* (2010), os principais entraves à implantação da IPF eram o capital financeiro (altos custos de implantação e manejo dos sistemas) e o conhecimento limitado (complexidade técnica do sistema) de produtores e de técnicos. Portanto, a assistência técnica capaz de entender a complexidade técnica dos sistemas e promover sua real implantação nas propriedades é fundamental para a superação dessas barreiras. Ainda segundo os autores, o acesso ao capital financeiro pelos

produtores e o treinamento e a assistência técnica para produtores, técnicos e trabalhadores de campo são fundamentais para melhorar a utilização dos sistemas integrados.

A análise dos desafios reais enfrentados pelos extensionistas diariamente é um processo essencial para aumentar a adoção dos sistemas integrados. Um dos principais desafios é entender a percepção das vantagens e das desvantagens por parte dos produtores acerca dos sistemas integrados (Gil *et al.*, 2015). O conhecimento dessas percepções pode ser útil para que os extensionistas melhorem a abordagem dos produtores e para que os pesquisadores ajustem ou criem novas linhas de pesquisas. Frey *et al.* (2007) avaliaram as percepções de 35 produtores que adotaram o sistema silvipastoril na Argentina e observaram diferentes percepções das vantagens e das desvantagens dos sistemas (Tabela 1). Alguns produtores indicaram que, se houvesse a continuação do programa de subsídio e do programa de extensão rural, eles aumentariam suas áreas ocupadas com o sistema. Esse resultado mostra a importância das políticas públicas e da extensão rural como fatores impulsionadores para transformações no meio rural. Além disso, alguns produtores disseram que aumentariam suas áreas com o sistema silvipastoril mesmo sem o auxílio do governo e da ATER, o que mostra a percepção positiva desses sistemas.

Mayerfeld *et al.* (2016) mostraram que diferentes integrantes da produção agropecuária eram relevantes nos aspectos produtivos e na adoção do sistema silvipastoril. Os produtores de madeira e de lavouras, os pesquisadores e os extensionistas apresentavam visões muito distintas dos desafios, das vantagens e das desvantagens da implantação do sistema silvipastoril. Essa observação se faz necessária porque os pesquisadores, os extensionistas e os produtores formam uma rede interdependente que é responsável pela produção de novos conhecimentos e pela divulgação, adoção e utilização de tecnologias. Portanto, se esses participantes não estabelecem um diálogo aberto com o compartilhamento dos mesmos objetivos, dificilmente novas tecnologias, como os sistemas integrados, serão utilizadas em larga escala.

Em pesquisa realizada em Goiás-GO, Tomaz *et al.* (2017A, 2017B) descreveram barreiras citadas por especialistas e produtores para a adoção de sistema de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF). Os especialistas citaram a falta de assistência técnica aos agropecuaristas, a falta de capacitação gerencial dos produtores rurais e a falta de maquinário específico para as operações. Os produtores, por sua vez, citaram a falta de financiamento e de seguro agrícola, a falta de disponibilidade de capital e de recursos financeiros, a necessidade de financiamento e a falta de fonte de fomento para financiar e pagar os custos

da adoção do sistema. Já os autores citaram o desconhecimento do funcionamento dos processos de adoção e de implantação do sistema e de condução do projeto, a falta de conhecimento em relação ao manejo do sistema, a burocracia das políticas de incentivo à adoção da ILPF (Plano ABC e o FCO Rural) e a falta de acesso dos produtores a elas, a dificuldade de estender o processo de aquisição do crédito a todos os segmentos, a burocracia à aprovação de crédito pelos bancos de financiamento, a dificuldade na comercialização da madeira, a ausência de indústrias de celulose e a falta de mão de obra qualificada para a execução dos projetos. A análise desses apontamentos deixa claro que a implantação dos sistemas integrados enfrenta dificuldades na esfera local. Portanto, a ATER precisa entender como superar essas barreiras e melhorar a implantação desses sistemas.

Tabela 1. Percepções das vantagens e das desvantagens por 35 produtores que adotaram o sistema silvipastoril

Percepção	Explicação
Vantagens	
Fluxo de caixa	Os produtos do sistema silvipastoril operam em diferentes escalas de tempo.
Prático	Silvipastoril apresenta baixo custo para combinar duas atividades na fazenda.
Rentável	Silvipastoril é mais rentável que outros sistemas usualmente utilizados.
Microclima	A presença da sombra reduz o estresse térmico pelo calor no verão e pela geada no inverno, nos animais. Além disso, melhora o valor nutricional do pasto.
Controle de plantas daninhas	Os animais ajudam a combater as plantas tolerantes ao sombreamento. O sombreamento reduz o crescimento de algumas plantas não tolerantes ao sombreamento.
Controle do fogo	Os animais diminuem a quantidade de material embaixo das florestas e reduzem o risco de fogo.
Controle de erosão	Há melhor cobertura do solo e menor risco de erosão.
Duplo propósito	O sistema produz mais de um produto e diversifica renda.
Qualidade de madeira	O sistema tem alta intensidade de desrama e desbaste, o que melhora a qualidade do produto final.
Desvantagens	
Incerteza	O sistema silvipastoril é uma tecnologia nova e com poucos resultados de pesquisa, fato que permite erros dentro dos sistemas. E há que se considerar a instabilidade econômica e a política local.
Capital	O investimento requerido pelo sistema pode ser alto.
Competição	Competição entre árvore e forragem pode reduzir o crescimento de ambos os componentes.
Complexidade	O sistema requer uma alta intensidade de manejos e pode ser difícil de ser manejado por iniciantes.
Saúde	Áreas arborizadas provêm ambientes favoráveis a pragas, como os carrapatos.

Fonte: Adaptado de Frey *et al.* (2007).

No Brasil, as diferentes unidades da Embrapa desempenham papel-chave na ATER com os sistemas integrados. A Embrapa utiliza três métodos de extensão: a transferência de tecnologia-TT (componente do processo de inovação, no qual diferentes estratégias de comunicação e interação são utilizadas por grupos de atores com o objetivo de dinamizar arranjos produtivos, mercadológicos e institucionais, por meio do uso de soluções tecnológicas), o intercâmbio de conhecimento-IC (processo interativo e dialógico que possibilita adaptar soluções tecnológicas já desenvolvidas a contextos específicos, a partir

da troca entre saberes tradicionais ou conhecimentos tácitos e conhecimentos científicos) e a construção coletiva do conhecimento-CCC (processo de interação baseada na força dialógica, no qual um conjunto de atores observa a realidade e, com as pessoas do local, sistematiza informações em busca de soluções tecnológicas no contexto de sua aplicação) (Embrapa, 2020).

As principais ações de promoção de TT e IC da Embrapa são os eventos de promoção, os de capacitação e treinamento, os dias de campo, os cursos de capacitação e formação de agentes multiplicadores, a participação em feiras e eventos, as unidades demonstrativas e as unidades de referência tecnológica e as vitrines tecnológicas (Embrapa, 2020). Além disso, a Embrapa apoia o planejamento e a execução de programas federais de auxílio ao meio agrário, como o Programa Brasil Sem Miséria, o Plano Safra da Agricultura Familiar, o Plano Agrícola e Pecuário Anual, bem como programas ligados aos sistemas integrados, como o Plano ABC, a Política Nacional de ILPF, o Fundo Amazônia e o Plano Nacional de Agroecologia e Produção Orgânica – PLANAPO.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A formação agrária brasileira atuou no meio rural e gerou grande concentração fundiária. Essa distribuição concentrada da terra e sua utilização para fins não agrícolas é um dos principais fatores que causam a baixa eficiência produtiva e os baixos indicadores ambientais da agropecuária nacional. A assistência técnica e a extensão rural no Brasil surgiram no contexto da modernização agrícola, com a função de difundir os pacotes tecnológicos da Revolução Verde. Entretanto, em razão dos impactos negativos, novos modelos e métodos de extensão que valorizam a comunicação democrática e dialógica devem ser priorizados. A ATER nos sistemas integrados enfrenta grandes desafios na divulgação dos conhecimentos científicos para os produtores rurais e na real adoção dessas tecnologias no campo. As universidades, as unidades da Embrapa e os órgãos públicos e privados ocupam posição de destaque na ATER e atuam na divulgação e adoção dessas tecnologias no meio rural brasileiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albagli, S. Divulgação científica: informação científica para cidadania. *Ciência da Informação*, v. 25, n. 3, 1996.
- Altieri, M. A. 2004. Vinculando ecologistas e agricultores tradicionais na busca por agricultura sustentável. *Frontiers in Ecology and the Environment*, v. 2, n. 1, p. 35-42.
- Balbino, L. C.; Cordeiro, L. A. M.; Porfírio-Da-Silva, V.; Moraes, A. De; Martinez, G. B.; Alvarenga, R. C.; Kichel, A. N.; Fontaneli, R. S.; Santos, H. P. Dos; Franchini, J. C.; Galerani, P. R. 2011. Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 46, n. 10, p. 1-12.
- Banger, K.; Wagner-Riddle, C.; Grant, B. B.; Smith, W. N.; Drury, C.; Yang, J. 2020. Modifying fertilizer rate and application method reduces environmental nitrogen losses and increases corn yield in Ontario. *Science of The Total Environment*, p. 137851, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.137851.
- Barretto, A. G. O. P.; Berndes, G. O.; Sparovek, G.; Wirsenius, S. 2013. Agricultural intensification in Brazil and its effects on land-use patterns: an analysis of the 1975–2006 period. *Global Change Biology*, v. 19, p. 1804–1815, doi: 10.1111/gcb.12174.
- Bretas, I. L.; Paciullo, D. S.; Alves, B. J. R.; Martins, M. R.; Cardoso, A. S.; Lima, M. A., Rodrigues, R. A. R.; Silva, F. F.; Chizzotti, F. H. 2020. Nitrous oxide, methane, and ammonia emissions from cattle excreta on *Brachiaria decumbens* growing in monoculture or silvopasture with *Acacia mangium* and *Eucalyptus grandis*. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 295, p. 106896, doi: 10.1016/j.agee.2020.106896.
- Calzavara, O. 1981. Um modelo para diagnóstico de empresas rurais. *Semina: Ciências Biológicas e da Saúde*, v. 3, n. 9, p. 65-69.
- Campanha, M. M.; de Oliveira, A. D.; Marriel, I. E.; Neto, M. M. G.; Malaquias, J. V.; Landau, E. C.; Albuquerque Filho, M. R.; Ribeiro, F. P.; Carvalho, A. M. 2019. Effect of soil tillage and N fertilization on N₂O mitigation in maize in the Brazilian Cerrado. *Science of The Total Environment*, v. 692, p. 1165-1174, doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.07.315.
- Costa, M. P.; Schoeneboom, J. C.; Oliveira, S. A.; Viñas, R. S.; Medeiros, J. A. 2017. A socio-economic efficiency analysis of integrated and non-integrated crop-livestockforestry systems in the Brazilian Cerrado based on LCA. *Journal of Cleaner Production*, doi: 10.1016/j.jclepro.2017.10.063.
- Dufumier, M.; Couto, V. A. Neoprodutivismo. Salvador, Cad. CRH, n. 28, p. 81-111, 1998.
- EMBRAPA-Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 2020. Ações de Transferência de Tecnologia. Disponível em: <www.embrapa.com.br>, acessado em: 03/06/2020.
- Fonseca, M. T. L. A. A extensão rural no Brasil: um projeto educativo para o capital. São Paulo: Loyola, 1985. 190 p.
- Frey, G.; Fassola, H.; Pachas, N.; Colcombet, L.; Lacorte, S.; Cabbage, F.; Pérez, O. 2007. Adoption and economics of silvopasture systems by farm size in northeastern Argentina. In Olivier, A. and S. Campeau, eds. 2007. When Trees and Crops Get Together. Proceedings of the 10th North American Agroforestry Conference, Québec City, Canada, June 10-13.
- Figueiredo, E. B.; Jayasundara, S.; Bordonal, R. O.; Berchielli, T. T.; Reis, R. A.; Wagner-Riddle, C.; La Scala Junior, N. 2016. Greenhouse gas balance and carbon footprint of beef cattle in three contrasting pasture-management systems in Brazil. *Journal of cleaner production*, v. 142, p. 420-431, doi: 10.1016/j.jclepro.2016.03.132.

- Garrett, R.; Niles, M.; Gil, J.; Gaudin, A.; Chaplin-Kramer, R.; Assmann, A.; Assmann, T.; Brewer, K.; Carvalho, P. De F.; Cortner, O. 2017. Social and ecological analysis of commercial integrated crop livestock systems: Current knowledge and remaining uncertainty. *Agricultural Systems*, v. 155, p. 136-146.
- Gil, J.; Siebold, M.; Berger, T. 2015. Adoption and development of integrated crop-livestock-forestry systems in Mato Grosso, Brazil. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 199, p. 394-406, doi: 0.1016/j.agee.2014.10.008.
- Gonçalves, L. C.; Ramirez, M. A.; Oliveira, A. F. 2020. TÓPICOS DE SETOR AGRÁRIO E DE EXTENSÃO RURAL. FEPMVZ, 1º ed., 127p, Belo Horizonte, ISBN: 978-85-87144-63-8.
- Gonçalves, L. C.; Ramirez, M. A.; Santos, D. 2016. Extensão rural e conexões. FEPMVZ, 1º ed., Belo Horizonte, 164 p, ISBN: 978-85-87144-54-6.
- Lal, R. 2010. Enhancing eco-efficiency in agro-ecosystems through soil carbon sequestration. *Crop science*, v. 50, n. 1, p.120-131, doi: 10.2135/cropsci2010.01.0012.
- Leite, C. C.; Costa, M. H.; Soares Filho, B. S.; Hissa, L. B. V. 2012. Historical land use change and associated carbon emissions in Brazil from 1940 to 1995. *Global Biogeochemical Cycles*, v. 26, n. 2, doi: 10.1029/2011GB004133.
- Lima, A. P. et al. 1995. Administração da unidade de produção familiar: modalidades de trabalho com agricultores. Ijuí: Unijuí.
- Linhares, M. Y.; Silva, F. C. T. 1999 Terra prometida: uma história da questão agrária no Brasil. Rio de Janeiro: Campus, 211 p.
- Liu, Z.; Sun, K.; Liu, W.; Gao, T.; Li, G.; Han, H.; Li, Ning, T.; Ning, T. 2020. Responses of soil carbon, nitrogen, and wheat and maize productivity to 10 years of decreased nitrogen fertilizer under contrasting tillage systems. *Soil and Tillage Research*, v. 196, p. 104444, doi: 10.1016/j.still.2019.104444.
- Martine, G. A trajetória da modernização agrícola: a quem beneficia?. *Lua Nova: Revista de Cultura e Política*, n. 23, p. 7-37, 1991.
- Martha Junior, G. B.; Alves, E.; Contini, E. 2012. Land-saving approaches and beef production growth in Brazil. *Agricultural Systems*, v. 110, p. 173-177, doi: 10.1016/j.agsy.2012.03.001.
- Mayerfeld, D.; Rickenbach, M.; Rissman, A. 2016. Overcoming history: attitudes of resource professionals and farmers toward silvopasture in southwest Wisconsin. *Agroforest Systems*, doi:10.1007/s10457-016-9954-7.
- Miguel, L. A. Abordagem sistêmica da unidade de produção agrícola. Gestão e planejamento de unidades de produção agrícola”. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2010.
- Moraine, M.; Duru, M.; Therond, O. 2016. A social-ecological framework for analyzing and designing integrated crop–livestock systems from farm to territory levels. *Renewable Agriculture and Food Systems*, p.1-14, doi:10.1017/S1742170515000526.
- Murgueitio, E.; Calle, Z.; Uribe, F.; Calle, A.; Solorio, B. 2011. Native trees and shrubs for the productive rehabilitation of tropical cattle ranching lands. *Forest Ecology and Management*, v. 261, p. 1654–1663, doi: 10.1016/j.foreco.2010.09.027.
- Nascimento, D. M.; Cavalieri-Polizeli, K. M. V.; Silva, A. H.; Favaretto, N.; Parron, L. M. 2019. Soil physical quality under long-term integrated agricultural production systems. *Soil and Tillage Research*, v. 186, p. 292-299, doi: 10.1016/j.still.2018.08.016.
- Oliveira, F. C. C.; Ferreira, G. W. D.; Souza, J. L. S.; Vieira, M. E. O.; Pedrotti, A. 2020. Soil physical properties and soil organic carbon content in northeast Brazil: long-term tillage systems effects. *Scientia Agricola*, v. 77, n. 4, doi: 10.1590/1678-992X-2018-0166.

Pezzopane, J. R. M.; Nicodemo, M. L. F.; Bosi, C.; Garcia, A. R.; Lulu, J. 2019. Animal thermal comfort indexes in silvopastoral systems with different tree arrangements. *Journal of thermal biology*, v. 79, p. 103-111, doi: doi.org/10.1016/j.jtherbio.2018.12.015.

Prado, E.; Ramirez, A. M. Agricultura Familiar e extensão rural no Brasil. Belo Horizonte: FEPMVZ, 2011. 120 p..

Prado Jr, C. 1999. A questão agrária. 5ª ed. São Paulo: Editora brasiliense.

Strassburg, B. B.; Latawiec, A. E.; Barioni, L. G.; Nobre, C. A.; Da Silva, V. P.; Valentim, J. F.; Vianna, M.; Assad, E. D. 2014. When enough should be enough: Improving the use of current agricultural lands could meet production demands and spare natural habitats in Brazil. *Global Environmental Change*, v. 28, p. 84-97, doi: 10.1016/j.gloenvcha.2014.06.001.

Thamo, T.; Addai, D.; Pannell, D. J.; Robertson, M. J.; Thomas, D. T.; Young, J. M. 2017. Climate change impacts and farm-level adaptation: Economic analysis of a mixed cropping–livestock system. *Agricultural Systems*, v. 150, p. 99–108, doi: 10.1016/j.agsy.2016.10.013.

Tomaz, G. A.; Borges, A. S.; Wander, A. E.; Souza, C. B. 2017A. COMO VIABILIZAR A ADOÇÃO DO SISTEMA ILPF. *Revista SODEBRAS*, v. 12, nº 144.

Tomaz, G. A.; Wander, A. E. 2017B. Barreiras à adoção do sistema ILPF em Goiás. *Revista de Ciência Política*, nº 1.

Zanatta, J. A.; Vieira, F. C. B.; Briedis, C.; Dieckow, J.; Bayer, C. 2019. Carbon indices to assess quality of management systems in a Subtropical Acrisol. *Scientia Agricola*, v. 76, n. 6, p. 501-508, doi: 10.1590/1678-992X-2017-0322.

CAPÍTULO 18

ÓRGÃOS E POLÍTICAS PÚBLICAS SOBRE OS SISTEMAS INTEGRADOS

Rafael Araújo de Menezes; Matheus Anchieta Ramirez; Lúcio Carlos Gonçalves; Alan Figueiredo de Oliveira; Frederico Patrus Ananias de Assis Pires; Guilherme Lobato Menezes; Pamella Grossi de Sousa; Brisa Márcia Rodrigues Sevidanes

RESUMO

Os sistemas integrados de produção de ruminantes são oportunidades de produzir alimento para o mundo de forma sustentável. Podem trazer diversos benefícios, ambientais, produtivos e econômicos, como a recuperação de áreas degradadas e o aumento da produtividade até a conservação de recursos naturais e a mitigação do efeito estufa. Entretanto, são sistemas complexos, que exigem conhecimento, gerência e investimentos. No Brasil, tanto as grandes quanto as pequenas propriedades têm importante participação na produção de alimentos para consumo interno ou externo. Por isso, políticas públicas de incentivo são cruciais para que essas oportunidades estejam disponíveis para os produtores rurais. Isso é feito por meio de financiamentos e suporte técnico que auxiliem na instalação do sistema, bem como de apoio para a continuidade e o sucesso desses sistemas. Assim, surgiram órgãos e políticas públicas que visam ao desenvolvimento sustentável da pecuária. Geralmente, esses órgãos são de cunho governamental e contam com a participação de empresas privadas, os quais convergem seus esforços para atender às diferentes classes da sociedade rural.

INTRODUÇÃO

Após a Revolução Industrial, o desenvolvimento produtivo e econômico avançou, gerando riquezas para os países industrializados. Porém, esse avanço caminhou junto com a emissão de gases poluentes, com destaque para o dióxido de carbono (CO₂), o que originou diversas consequências destrutivas para os ecossistemas terrestres, como o efeito estufa e as alterações climáticas.

Diante desses problemas mundiais, organizações internacionais sobre o clima surgiram com o propósito de reduzir os impactos das atividades humanas sobre a Terra, frear os problemas ambientais e impedir que projeções de cenários catastróficos se tornem realidade. Essas organizações também assumem o papel de orientar e monitorar as ações governamentais. Os governos, por sua vez, implementam políticas e programas internos

para efetivar tais compromissos. Sob supervisão dos órgãos públicos, contam com auxílio ou parceria de institutos, empresas do setor público e privado e outras organizações que atuam de forma complementar para atingirem seus objetivos. No Brasil, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) e o Ministério do Meio Ambiente (MMA) são destaques na condução das atividades e do crescimento do agronegócio. Atuam junto a empresas de assistência técnica e extensão rural (ATER), por meio de políticas e de atendimento a todos os produtores rurais (grandes e pequenos), a fim de conscientizá-los de que os investimentos e a preservação dos recursos naturais trazem benefícios produtivos, financeiros e ecológicos. Essa é a chave para que o Brasil continue atendendo às exigências mundiais por alimentos seguros, de qualidade e produzidos com sustentabilidade.

ÓRGÃOS E POLÍTICAS INTERNACIONAIS

A Segunda Guerra Mundial devastou diversos países, destruiu extensas áreas ambientais e eliminou milhões de vidas. Esses acontecimentos sensibilizaram as pessoas por todo o mundo, as quais propagavam o desejo comum de paz e harmonia entre os países. Com a participação dos representantes de 50 países, foi elaborada a “Carta das Nações Unidas”, ratificada em 1945 por China, Estados Unidos, França, Reino Unido e a ex-União Soviética, a qual deu origem à Organização das Nações Unidas (ONU). A carta estabeleceu seis órgãos internacionais principais: a Assembleia Geral, o Conselho de Segurança, o Conselho Econômico e Social, o Conselho de Tutela, a Corte Internacional de Justiça e o Secretariado. Nela estão expressas as ideias e os propósitos da ONU embasados na paz e no desenvolvimento mundial.

As questões humanas e ambientais foram marcantes entre os feitos na história da ONU. A Declaração Universal dos Direitos Humanos (1948) representa um marco para a liberdade e a dignidade individual da sociedade civil, por meio da garantia, por lei, dos direitos humanos. Na área ambiental, em 1972 a ONU convocou a Conferência das Nações Unidas sobre o Ambiente Humano, em Estocolmo (Suécia), onde criou uma declaração que contém 19 princípios ambientais, reconhecidos como um manifesto ambiental, fundamentados na necessidade de inspirar e guiar os povos do mundo para a preservação e a melhoria do ambiente humano.

“Chegamos a um ponto na História em que devemos moldar nossas ações em todo o mundo, com maior atenção para as consequências ambientais.

Através da ignorância ou da indiferença podemos causar danos maciços e irreversíveis ao meio ambiente, do qual nossa vida e bem-estar dependem. Por outro lado, através do maior conhecimento e de ações mais sábias, podemos conquistar uma vida melhor para nós e para a posteridade, com um meio ambiente em sintonia com as necessidades e esperanças humanas...” (...) “Defender e melhorar o meio ambiente para as atuais e futuras gerações se tornou uma meta fundamental para a humanidade.”

Trechos da Declaração da Conferência da ONU sobre o Meio Ambiente (Estocolmo, 1972), parágrafo 6.

Logo, foi criado o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (ONU Meio Ambiente), que tratava dos aspectos ambientais das catástrofes e dos conflitos, da gestão dos ecossistemas, da governança ambiental, das substâncias nocivas, da eficiência dos recursos naturais e das mudanças climáticas. A partir disso, foram feitos tratados, encontros e protocolos com os países parte, de modo a fortificar a estrutura organizacional e a atuação da ONU Meio Ambiente:

- **Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (1983):** consiste na primeira comissão criada com fins de discussão acerca das questões ambientais e do desenvolvimento socioeconômico;

- **Protocolo de Montreal (1987):** trata-se de um acordo internacional com o objetivo de reduzir a emissão de gases responsáveis pela destruição da camada de ozônio;

- **Comissão Brundtland (abril de 1987):** publica o inovador relatório “Nosso Futuro Comum”, que trata do conhecimento para domínio público sobre o desenvolvimento social e econômico sustentável;

- **Cúpula da Terra, conhecida como Rio ECO-92** (Rio de Janeiro - Brasil, junho de 1992): adota a “Agenda 21”, um diagrama para a proteção e o desenvolvimento sustentável do planeta em abordagem da proteção e da renovação dos recursos naturais e da mitigação das agressões ambientais. Também aborda assuntos sobre pobreza e dívida externa de países emergentes.

- Durante a Rio ECO-92, foram assinadas as convenções sobre a **Diversidade Biológica** e o **Combate à Desertificação**;

- **Assembleia Geral da ONU**, conhecida como **Cúpula da Terra +5 (Nova York, junho de 1997)**: revisa e avalia a Agenda 21, bem como faz recomendações de sua utilização. Entre as recomendações está a redução da emissão dos gases de efeito estufa (GEE), a sustentabilidade na produção, a distribuição de energia e a erradicação da pobreza;

- **Protocolo de Kyoto (Kyoto – Japão, dezembro de 1997)**: objetiva alertar e propor responsabilidades e metas de redução das emissões de GEE e do aquecimento global;

- **Cúpula Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável**, conhecida como **Rio+10 (Johanesburgo - África do Sul, setembro de 2002)**: propõe metas, prazos e planos de ações para a Agenda 21 e outras estratégias levantadas na Cúpula da Terra;

- **15ª Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas**, também chamada de **COP 15 (Copenhague - Dinamarca, dezembro de 2009)**: debate as alternativas para enfrentar o aquecimento global;

- **Fundo Global para fomentar pesquisa de desenvolvimento sustentável** (Cancun – México, 2010);

- **Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável**, conhecida como **Rio+20 (Rio de Janeiro - Brasil, junho de 2012)**: discute sobre a renovação dos compromissos políticos entre os países parte relacionados ao desenvolvimento sustentável;

- **Década das Nações Unidas da Educação para o Desenvolvimento Sustentável (2005-2014)**: auxilia as populações a desenvolverem atitudes, habilidades e conhecimento para que tomem decisões informadas em benefício próprio e dos outros, em curto e longo prazo, agenciadas principalmente pela Organização das Nações Unidas para Educação, Ciência e Cultura (Unesco);

- **Cúpula de Desenvolvimento Sustentável (Nova York, setembro de 2015)**: adota a “Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável”, uma nova agenda de

desenvolvimento sustentável, em que todos os países da ONU redefinem seus objetivos e estabelecem metas para 2030;

- **21ª Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas**, também chamada de **COP 21 (dezembro de 2015)**: discute as projeções de redução das emissões de GEE e de aumento na temperatura média global.

Uma importante atividade realizada pela ONU é a elaboração de relatórios de acordo com sua temática, relacionada aos direitos humanos e ao meio ambiente. Para cada viagem ou reunião feita, é elaborado um relatório destinado ao Conselho de Segurança, com a finalidade de formalizar o propósito, as considerações relevantes, as conclusões, as propostas levantadas e a homologação de acordos. Anualmente é criado um relatório de atividades, apresentado pelo presidente de turno do órgão em reunião plenária da Assembleia, para debate formal em modo conjunto.

Após a criação da ONU Meio Ambiente, outras organizações surgiram a partir de encontros para debate e propostas formais sobre as mudanças climáticas e o desenvolvimento sustentável.

Com o despertar da importância dos efeitos negativos da poluição atmosférica sobre a camada de ozônio terrestre, reuniram-se, em 1985, na Áustria, vários países em manifestação a essa preocupação. Nesse encontro, formalizou-se a Convenção de Viena para a Proteção da Camada de Ozônio, a qual realizou um tratado e obrigações entre os envolvidos. Dois anos depois, a Convenção de Viena implementou o Protocolo de Montreal sobre Substâncias que Destroem a Camada de Ozônio (SDOs), o qual propunha medidas para minimizar a agressão à camada de ozônio e obrigações de redução de emissão dos SDOs até sua total eliminação. Foram 197 países que aderiram ao protocolo, fazendo-o como único acordo ambiental multilateral de adoção universal. O Brasil aderiu ao protocolo em 06 de junho de 1990, mesmo ano em que foi criado o Fundo Multilateral para a Implementação do Protocolo de Montreal (FML), com a finalidade de assistir e assessorar os países partes em desenvolvimento em suas obrigações.

Um dos maiores e mais famosos acordos sobre a questão ambiental com ênfase no efeito estufa é o Protocolo de Kyoto, realizado em 1997, o qual tinha uma meta bem definida para os países partes: reduzir a emissão de gases de efeito estufa (GEE) em 5% do nível médio mundial encontrado em 1990, com prazo até 2012. Aspectos econômicos formaram base para negociação entre os países, por exemplo o Mercado do Carbono, por meio do qual um país pode comprar uma cota para emissão de carbono de outro país.

Entretanto, as maiores economias, e também os maiores poluidores do planeta, a China e os Estados Unidos (EUA), não assinaram o acordo. Por isso, a meta principal não foi efetivada, mas responsabilidades e obrigações foram definidas para todos. Entre elas, está a promoção de formas sustentáveis de produção agrícola e a pesquisa e extensão de tecnologias de sequestro de carbono, como pode ser exemplificado na agropecuária pelos sistemas de integração. Algumas reuniões internacionais sobre meio ambiente e mudanças climáticas, como é o caso da Rio +20, serviram de pauta para discussão e reformulação dos prazos. Com as crises de 2008 nos EUA e de 2010 na Europa, essas metas e prazos foram novamente postergados, e ainda não há projeção do cumprimento desse acordo. Isso mostra que a questão ambiental, mesmo com dimensão mundial e consequências ameaçadoras, é preterida diante de interesses econômicos de alguns países. O Brasil aderiu ao protocolo em 23 de agosto de 2002, e a China, de modo parcial, em 2018.

A Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas de 2009, também chamada de Conferência de Copenhague ou COP-15, gerou muita discussão e poucas resoluções. Nesta, o Brasil assumiu protagonismo ao declarar o compromisso de reduzir entre 36,1 e 38,9% a emissão de GEE até 2020, meta transformada na instituição da Política Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC (Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009), que estimula as práticas, as atividades e as tecnologias agropecuárias de baixas emissões de gases de efeito estufa e os padrões sustentáveis de produção e consumo.

Em continuidade ao debate e ao acompanhamento do Protocolo de Kyoto, foi sediada em Paris (2015) a 21ª Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas, conhecida como COP-21. Essa conferência resultou no Acordo de Paris, cuja proposta jurídica para implantar estratégias de mitigação dos gases de efeito estufa (GEE) a partir de 2020 objetiva controlar o aumento da temperatura média global e mantê-la inferior a 2 °C (preferencialmente inferior a 1,5 °C) acima do nível médio encontrado na era pré-industrial. O Brasil comprometeu-se a diminuir a emissão nacional de GEE em 37% até 2025 e em 43% até 2030, tomando como base os níveis de emissão desses gases no ano de 2005.

Na COP-21, foi criada uma iniciativa assinada por 14 países, chamada de “4 por 1000”, com o objetivo de aumentar a captação anual de carbono nos solos agrícolas à taxa de 0,4%. Isso reduziria significativamente a concentração de CO₂ na atmosfera oriunda das atividades humanas. A iniciativa conta com os avanços na pesquisa e com a sua

aplicação prática quanto ao sequestro de carbono pelo solo e pelos vegetais. Também promove as práticas de produção agropecuária e de manejo do solo, as quais propiciam melhor produtividade ao sistema, diminuem a emissão de GEE e promovem a segurança alimentar. Embora o Brasil não seja um país membro, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) participa como instituição do Comitê Técnico e Científico da iniciativa, além de outras organizações brasileiras fazerem parte do consórcio. Nas reuniões da “4 por 1000” realizadas durante a COP-25, em 2019, na Espanha, foi considerado que “a perturbação do solo por algumas técnicas de agricultura é causa de perda de carbono orgânico. Contudo, sistemas de cultivo como o plantio direto e a integração lavoura-pecuária que são utilizados por exemplo no Brasil, têm potencial para reduzir a emissão de gases de efeito estufa e fixar carbono atmosférico (CO₂). Trabalhos nesse sentido são importantes, principalmente nos solos tropicais, devido ao incremento que trazem em termos de matéria orgânica”.

Referências técnico-científicas

As informações discutidas nas reuniões, nas conferências e nos demais encontros de organizações acerca do clima e do meio ambiente, bem como sobre o uso dos recursos naturais e o desenvolvimento sustentável, são obtidas a partir de relatórios técnico-científicos feitos por importantes institutos, como o IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas), em âmbito mundial, e o INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), em âmbito nacional. Atualmente, o IPCC é a maior referência em análise científica sobre as mudanças climáticas que ocorrem no nosso planeta e seus relatórios são base para projeções de cenários, planejamento e adoção de medidas que reduzam os problemas ambientais causados pelo homem. Os principais problemas são o efeito estufa e o aumento da temperatura média da Terra, os quais representam sério risco de vida à humanidade e de equilíbrio dos ecossistemas terrestres.

O IPCC é uma organização fundada em 1988 por 130 países, que tem por finalidade avaliar e relatar periodicamente as mudanças climáticas na Terra decorrentes do processo de desenvolvimento socioeconômico e de outras ações humanas. Esse instituto fornece informações relevantes e consistentes que soam como alerta aos órgãos ambientais e governamentais para a realidade e para as projeções de possíveis cenários futuros. Até o momento, foram publicados seis relatórios de avaliação sobre o meio ambiente, referidos como AR (*Assessment Report*), todos disponíveis ao público. O IPCC também produz Relatórios de Metodologia, que fornecem diretrizes práticas para a

preparação de inventários de gases de efeito estufa, e Relatórios Especiais, que são uma avaliação sobre uma questão específica. Entre os Relatórios Especiais estão “Cenários de Emissões (2000)”, “Fontes de energias renováveis (2012)”, “Eventos extremos e desastres (2012)”, “Aquecimento global de 1,5 °C (2018)”, “Mudança climática e Terra (2019)” e “Oceano e criosfera (2019). Todos eles são obtidos a partir dos ARs e publicados de forma independente.

Cada AR é publicado em quatro etapas no decorrer do ano. A primeira reúne evidências científicas as quais relacionam as mudanças climáticas com as atividades humanas; a segunda aborda as consequências dessas mudanças sobre o ambiente e a saúde humana; a terceira estuda estratégias de combate a essas mudanças e tentativas de minimizá-las; e a quarta parte é uma síntese de todo o processo, de forma a apresentar e concluir o que todos os países concordaram sobre o tema.

O primeiro relatório (AR1) foi publicado em 1990 e favoreceu a criação da Convenção do Quadro das Nações Unidas para Mudanças do Clima (UNFCCC), uma entidade da ONU para negociações políticas e ações referentes às questões ambientais e climáticas. A UNFCCC tem como foco a estabilização da concentração de gases de efeito estufa na atmosfera a níveis que previnam sérios problemas ambientais e permitam uma adaptação dos ecossistemas às novas condições climáticas. Juntos, o IPCC e o UNFCCC trabalham de maneira integrada e complementar. A seguir, é apresentada a lista dos ARs e suas principais considerações (IPCC, 2020).

AR1 (1990): consiste no primeiro relatório com informações técnico-científicas de domínio público mundial, com relato dos debates e participação política dos governos associados acerca do efeito estufa e de seus gases poluidores; formaliza a implementação da UNFCCC.

AR2 (1995): aprofunda as discussões feitas no relatório anterior (AR1) com novas informações e perspectivas; traz melhor entendimento do efeito estufa e dos GEE; avança no planejamento de estratégias e políticas em resposta às evidências apresentadas, o que resultou na criação do Protocolo de Kyoto dois anos depois.

AR3 (2001): apresenta foco socioeconômico acerca das mudanças climáticas; projeta a elevação dos níveis oceânicos, o aumento da frequência das ondas de calor e o aumento da temperatura global e os associa com o desenvolvimento econômico e social; discute os impactos, as adaptações e as vulnerabilidades dos países diante dessas mudanças.

AR4 (2007): apresenta informações atualizadas sobre as mudanças na atmosfera, o aquecimento global, os sistemas hídricos, os fatores contribuintes para o efeito estufa, entre outros, bem como novas projeções de cenários segundo os possíveis impactos, as adaptações e a vulnerabilidade dos ecossistemas; enfatiza a mitigação das mudanças climáticas e do aquecimento global em curto, médio e longo prazo.

AR5 (2014): enaltece, com grande peso científico, as atividades humanas como responsáveis pelo efeito estufa, pelas mudanças climáticas, pela acidificação e pelo aumento nos níveis dos oceanos, do recuo glacial (redução das geleiras), da irregularidade pluviométrica, entre outras consequências deletérias para o nosso planeta; reforça que só o homem pode salvar a Terra dos piores cenários se realizar medidas de urgência e de longo prazo, principalmente a redução das emissões de gases de efeito estufa.

O sexto relatório (AR6) está em processo de finalização. Foram publicadas as três etapas iniciais, mas a síntese está prevista para 2022. Pretende-se publicá-la a tempo da primeira avaliação global da UNFCCC, quando os países membros revisarão o progresso em direção à sua meta de manter o aquecimento global bem abaixo de 2 °C, enquanto prosseguem os esforços para limitá-lo a 1,5 °C, por meio de planos de ação com prazos para 2030, 2050 e 2075.

No Brasil, o INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) desempenha o papel de promover e executar estudos, pesquisas científicas, desenvolvimento tecnológico e capacitação de recursos humanos nos campos da Ciência Espacial e da Atmosfera, das Aplicações Espaciais, da Meteorologia e da Engenharia e Tecnologia Espacial, conforme as políticas e diretrizes definidas pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. O INPE criou, na década de 90, após a grande discussão sobre a camada de ozônio tematizada no Protocolo de Montreal, o Laboratório de Ozônio, o qual proporcionou visibilidade do instituto no país e no mundo. Posteriormente, o INPE participou de renomadas atividades experimentais em colaboração com a Nasa e outras organizações nacionais e estrangeiras.

Composto por tecnologias espaciais e moderna infraestrutura, o instituto dedica parte de suas atividades ao desenvolvimento sustentável, por meio de projetos de pesquisas e monitoramento ambientais, como os Projetos de Detecção de Queimadas, o Projeto de Desflorestamento da Amazônia Legal (PRODES), de Detecção de Desmatamento em Tempo Real (DETER) e de Monitoramento Ambiental dos Biomas Brasileiros. O CPTEC (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos) é ferramenta

bastante útil aos atuantes do setor primário da agropecuária. Foi desenvolvido para gerar previsões numéricas de tempo, previsões de clima sazonal e previsões climáticas regionais, abrangendo com qualidade todo o território da América do Sul. Assim, o CPTEC tornou-se referência internacional e permitiu domínio público do acesso ao monitoramento climático e de previsões do tempo em diversas regiões sul-americanas. Outra via de informação meteorológica para os produtores é o Inmet (Instituto Nacional de Meteorologia), órgão pertencente ao MAPA. Esses institutos, então, geram informações meteorológicas para auxiliar a sociedade brasileira no processo de tomada de decisão em atividades agropecuárias, contribuindo para o desenvolvimento sustentável do país.

ÓRGÃOS E POLÍTICAS NACIONAIS

Agricultura familiar

Dados oficiais estimam que em 2021 o Brasil ocupará o primeiro lugar mundial na produção de café, cana-de-açúcar e laranja, o segundo lugar na produção de bovinos e soja e o terceiro lugar na produção de milho e carne de frango (CEPEA, 2020). Conforme estudo feito pelo Censo Agropecuário 2017 (IBGE, 2019), são mais de 5 milhões de estabelecimentos agropecuários. Desses, estima-se que a agricultura familiar representa 76,8% e contribuiu com 23% do valor de produção. O apoio à produção agropecuária nacional é fundamental para o desenvolvimento zootécnico, econômico e sustentável dos empreendimentos. A melhoria dos processos produtivos e o aumento da eficiência produtiva podem ser a forma mais eficaz de reduzir impacto ambiental no setor.

O Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (PRONAF) foi criado em 1996, pelo presidente Fernando Henrique Cardoso, para mitigar os efeitos negativos que a modernização agrícola gerou para a agricultura familiar. Essa modernização auxiliou os latifúndios, com subsídio técnico e financeiro (crédito rural), mas com discriminação aos pequenos produtores. Assim, gerou-se um grave desequilíbrio social no país, marcado pela desigualdade de acesso ao crédito rural, pela desinformação, pela assistência técnica difusionista e pelo baixo desenvolvimento na agricultura familiar. Como consequência, o uso inadequado da terra foi consistentemente fortificado e o manejo extrativista dos recursos naturais se tornou cultural nas pequenas propriedades, levando ao desequilíbrio ambiental, à degradação do solo e ao baixo potencial produtivo.

O objetivo do PRONAF é dar suporte à agricultura familiar e favorecer o seu desenvolvimento, por meio de créditos de investimento e custeio, bem como oferecer serviços de assistência técnica e extensão rural (ATER) gratuita e mais humana, que atenda aos problemas da comunidade e trabalhe de acordo com a realidade dos produtores. Para isso, foram criadas políticas e programas de assistência técnica e extensão rural, além de programas específicos para os grupos sociais mais excluídos, como PRONAF Jovem; Mulher; Agroecologia; ECO; Floresta; Pesca; Mais Alimentos; Máquinas; entre outros.

Embora o PRONAF tenha ampliado o campo de atuação da ATER para as camadas sociais mais desfavorecidas, os investimentos estruturais e financeiros exercidos pelos poderes municipais, estaduais e federal são insuficientes para concretizar os princípios do programa. A distribuição de créditos ainda ocorre de forma centralizada e privilegiada. Não se podem descartar os traços difusionistas presentes na assistência técnica e sua ineficiência em promover o desenvolvimento e a inclusão social. Somado a isso, a alta prevalência de analfabetização presente na agricultura familiar dificulta o acesso à informação e a aquisição dos benefícios ofertados.

Com a proposta de uma “Nova Extensão Rural” no Brasil, foi criada em 2003 a nova Política Nacional de Assistência Técnica e Extensão Rural (PNATER) pelo Departamento de Assistência Técnica e Extensão Rural do MAPA (DATER). Por intermédio do Programa Nacional de Assistência Técnica e Extensão Rural (PRONATER), a PNATER visa a um sistema descentralizado que leve, de fato, a modernização e a extensão rural oficial exclusivamente aos produtores da agricultura familiar, contando com uma educação humanizada e continuada. Ainda em 2003, o governo transferiu a competência sobre a ATER para o Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDA). Mais tarde, em 2016, o MDA foi extinto pelo governo, substituído pela Secretaria Especial de Agricultura Familiar e do Desenvolvimento Agrário (SEAD), e as suas competências foram transferidas para o Ministério do Desenvolvimento Social (MDS).

Com o intuito de planejar e propor ações para desenvolver as pequenas comunidades agrícolas por meio do Plano Municipal de Desenvolvimento Rural Sustentável (PMDRS), a PNATER determina criação do CMDRS (Conselho Estadual de Desenvolvimento Rural Sustentável), formado majoritariamente por produtores familiares independentes de diferentes comunidades e, em teoria, incorruptível diante das possíveis manipulações da política local. Esse conselho tem grande importância na

definição das políticas públicas e é por meio dele que o produtor adquire o certificado de permissão ao crédito rural e ao financiamento (Declaração de Aptidão – DAP). Juntos, os CMDRS formarão os CEDRS (Conselho Estadual de Desenvolvimento Rural Sustentável), que, por sua vez, irão formar o CFDR (Conselho Federal de Desenvolvimento Rural) – atual CONDRAF, os quais devem suportar e auxiliar o funcionamento dos CMDRS e criar políticas de âmbito nacional.

Uma das importantes diretrizes da nova Política Nacional de Assistência Técnica e Extensão Rural (PNATER) é “apoiar ações para conservação e recuperação dos recursos naturais” a partir da “Promoção do Desenvolvimento Rural Sustentável”, cujo objetivo é desenvolver as comunidades de agricultores familiares, melhorar a produção de alimentos e respeitar os princípios da sustentabilidade e da agroecologia. Com isso, fortaleceram-se as novas modalidades de produção sustentável, como a agroecologia, a agricultura orgânica, a biodinâmica, a agricultura biológica, a permacultura, entre outras. Essas modalidades foram consideradas inovações neoprodutivistas no contexto rural, pois são independentes e produzem alimentos de alto valor agregado com o mínimo de impacto ambiental. Utilizam intensa mão de obra e atuam em nichos pouco competitivos de mercado, como a floricultura, a produção de animais silvestres e de ervas medicinais e aromatizantes, a aquicultura e a horticultura diversificada.

Segundo o artigo 1º do Decreto nº 7.794, de 20 de agosto de 2012, que institui a Política Nacional de Agroecologia e Produção Orgânica:

“Fica instituída a Política Nacional de Agroecologia e Produção Orgânica - PNAPO, com o objetivo de integrar, articular e adequar políticas, programas e ações indutoras da transição agroecológica e da produção orgânica e de base agroecológica, contribuindo para o desenvolvimento sustentável e a qualidade de vida da população, por meio do uso sustentável dos recursos naturais e da oferta e consumo de alimentos saudáveis”.

Implantada pela União, a PNAPO conta com um regime de cooperação com os estados, os municípios e o Distrito Federal, junto a organizações da sociedade civil e a outras entidades privadas – entre elas o PNEA (Política Nacional de Educação Ambiental) e o PEAAF (Programa de Educação Ambiental e Agricultura Familiar). A PNAPO

estimula a agroecologia e a produção orgânica por meio da ATER e de outros instrumentos, como o seguro agrícola e de renda, as pesquisas e as inovações científicas e tecnológicas, os créditos rurais, a formação profissional, as compras governamentais e os preços agrícolas e extrativistas.

Um dos principais instrumentos do PNAPO é o Plano Nacional de Agroecologia e Produção Orgânica (PLANAPO), conhecido como Brasil Agroecológico. Esse plano visa ao incentivo e ao etnodesenvolvimento das comunidades tradicionais, dos povos indígenas e assentados da reforma agrária, além de ampliar a visibilidade e o consumo de produtos alimentícios agrícolas diversificados. Assim, o oferecimento comercial de alimentos saudáveis, sem uso de agrotóxicos ou transgênicos, surge como produtos diferentes da produção agrícola conservadora e com valor agregado, possibilitando melhoria de renda dos produtores e da economia da agricultura familiar.

Em complementariedade, outra diretriz se refere a “conservar e valorizar os mercados locais”. Por isso, foram regulamentados, pela Lei nº 11.947, de 2009, projetos de mercados institucionais, como o Programa de Aquisição de Alimentos (PAA) e o Programa Nacional de Alimentação Escolar (PNAE). Segundo as autoridades que regem a assistência técnica e a extensão rural no Brasil, “os principais benefícios gerados pelo PNAE e PAA aos agricultores são a criação de mercado para os seus produtos, a valorização da produção de alimentos locais e regionais, o incentivo à organização, cooperação e/ou formalização dos agricultores, o incentivo ao empreendedorismo local, a valorização dos aspectos sociais, culturais e ambientais e novas oportunidades de negócio e geração de emprego e renda”.

Órgãos e políticas nacionais no setor agropecuário

O MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento) é um órgão do governo federal responsável pela gestão das políticas públicas de estímulo à agropecuária, pelo fomento do agronegócio e pela regulação e normatização de serviços vinculados ao setor. São mais de 500 serviços públicos prestados e, entre eles, há aqueles com atenção destinada à agricultura familiar e aos produtores rurais, como os que se seguem.

- Cadastro dos produtos para financiamento pelo Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar – PRONAF (Programa Mais Alimentos).
- Registro no Cadastro Nacional da Agricultura Familiar (CAF).

- Certificação de entidades e técnicos para concessão de crédito fundiário (CET).
- Credenciamento como entidade prestadora de assistência técnica e extensão rural (ATER).
- Obtenção de assistência técnica e extensão rural para o médio produtor (ATER).
- Solicitação do Selo Nacional da Agricultura Familiar (SENAF).

Assim, o MAPA promove investimentos sociais, científicos e tecnológicos para melhorar a produtividade e a eficiência do agronegócio, além de facilitar a comercialização interna dos produtores rurais. Também representa o país em organizações internacionais para tratar de assuntos favoráveis à exportação e ao comércio de produtos agropecuários.

O setor agropecuário tem uma histórica e expressiva participação no PIB e na balança comercial brasileira, suportando a economia do país em períodos críticos, como ocorrido nas crises políticas e econômicas de 2008 e 2015, bem como na atual crise mundial causada pela pandemia da Covid-19. Logo, a importância de valorizar e incentivar os produtores rurais, pequenos e grandes, torna-se cada vez mais explícita para o desenvolvimento e o progresso do Brasil. Para realização de suas atividades e programas, o MAPA conta com cinco secretarias:

- **Secretaria de Defesa Agropecuária (SDA/MAPA)**

Responsável pela prevenção, pelo controle e pela erradicação de doenças animais e de pragas vegetais, garante a segurança alimentar dos produtos de origem animal e vegetal, por meio de fiscalização, monitoramento e rastreamento em todas as etapas da cadeia produtiva e da comercialização, tanto no mercado interno quanto no externo. Atua em âmbito federal.

- **Secretaria de Política Agrícola (SPA/MAPA)**

Responsável pela formulação e avaliação das políticas agrícolas no Brasil, atua, entre outras áreas, no zoneamento agrícola e no seguro rural, na mobilização de recursos públicos e privados relacionados ao agronegócio e no apoio ao produtor para compra de insumos e comercialização de seus produtos a preços competitivos.

- **Secretaria de Relações Internacionais do Agronegócio (SRI/MAPA)**

Responsável pela representação do Brasil em órgãos e acordos internacionais e exportações relacionados ao agronegócio, atrai investimentos estrangeiros e realiza cooperação técnica com outros países.

- **Secretaria da Mobilidade Social, do Produtor Rural e do Cooperativismo (SMC/MAPA)**

Responsável pelas ações de apoio e integração do pequeno e médio produtor às políticas públicas, promove atividades de educação e qualificação rural, cooperativismo e associativismo, assistência técnica e extensão rural, boas práticas e desenvolvimento rural, entre outras.

- **Instituto Nacional de Meteorologia (INMET/MAPA)**

Responsável pela realização de pesquisas e relatórios científicos meteorológicos, pelo monitoramento de mudanças climáticas e pela divulgação de informações sobre as condições climáticas e ambientais como ferramenta para atividades agrárias do país.

O desenvolvimento do agronegócio deve ser planejado e atender às questões sociais, culturais e ambientais nas diversas regiões brasileiras. Com esse ideal, o MAPA atua em conjunto com o Ministério do Meio Ambiente (MMA), o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI), o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) e o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio).

O Ministério do Meio Ambiente foi criado em novembro de 1992 e tem como missão “formular e implementar políticas públicas ambientais nacionais de forma articulada e pactuada com os atores públicos e a sociedade para o desenvolvimento sustentável”. Atualmente, o MMA teve a sua estrutura organizacional atualizada, por meio do Decreto nº 9.672, de janeiro de 2019, e conta com cinco secretarias (Secretaria de Biodiversidade, Secretaria de Florestas e Desenvolvimento Sustentável, Secretaria da Qualidade Ambiental, Secretaria de Relações Internacionais e Secretaria de Ecoturismo) cujas áreas de competência foram divididas da seguinte forma.

I - Política nacional do meio ambiente.

II - Política de preservação, conservação e utilização sustentável de ecossistemas, biodiversidade e florestas.

III - Estratégias, mecanismos e instrumentos econômicos e sociais para a melhoria da qualidade ambiental e o uso sustentável dos recursos naturais.

IV - Políticas para a integração do meio ambiente e a produção.

V - Políticas e programas ambientais para a Amazônia.

VI - Estratégias e instrumentos internacionais de promoção das políticas ambientais.

Entre os seus órgãos colegiados estão o CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente), o CONAMAZ (Conselho Nacional da Amazônia Legal), o CNCD (Comissão Nacional de Combate à Desertificação) e o Conselho Deliberativo do Fundo Nacional do Meio Ambiente.

O Programa de Educação Ambiental e Agricultura Familiar (PEAAF), o Programa Nacional de Acesso ao Ensino Técnico e Emprego (Pronatec) e cursos de educação a distância (EaD) são exemplos de ações práticas de políticas públicas voltadas para o desenvolvimento sustentável e a preservação do meio ambiente. Considera-se o PEAAF uma contribuição concreta da Política Nacional de Educação Ambiental (PNEA), o qual propõe ações educativas, busca a construção coletiva de estratégias para o enfrentamento da problemática socioambiental rural, apoia a regularização ambiental das propriedades rurais e promove a agroecologia e as práticas produtivas sustentáveis. Outro programa recentemente implementado pelo MMA é o Programa Floresta +, com investimento inicial de R\$500 milhões para ações na Amazônia e captação de recursos internacionais. Segundo a Assessoria de Comunicação social do MMA, esse programa “permite que os custos de cuidar da natureza sejam convertidos em benefícios. (...) Fazer cerca, vigilância, combate a incêndios, proteção do solo, monitoramento, pesquisas sobre biodiversidade, plantio de espécies nativas, atividades agroflorestais, atividade integrada lavoura-pecuária-floresta são exemplos de atividades que serão reconhecidas e/ou remuneradas”.

Ainda sobre a preservação dos recursos naturais renováveis e o uso consciente de floresta, o Ministério do Meio Ambiente criou o termo Manejo Florestal Sustentável, conceituado como a “administração da floresta para obtenção de benefícios econômicos, sociais e ambientais, respeitando-se os mecanismos de sustentação do ecossistema objeto do manejo e considerando-se, cumulativa ou alternativamente, a utilização de múltiplas espécies madeireiras, de múltiplos produtos e subprodutos não madeireiros, bem como a utilização de outros bens e serviços florestais”. Isso se faz através da elaboração do Plano de Manejo Florestal Sustentável (PMFS), no qual é apresentado o planejamento da coleta de dados e do monitoramento do crescimento da floresta, bem como as técnicas florestais que causem o mínimo de danos ambientais e os maiores benefícios para a floresta e para

os trabalhadores. Uma opção é o Manejo Florestal Comunitário, feito de forma coletiva, por meio de associações e cooperativas. Realizado em conjunto, os associados têm menores despesas, maior quantia de crédito fornecido e maior segurança de venda dos produtos.

Durante as décadas de 1970 e 1980, foram executados empreendimentos milionários, que simbolizaram um grande feito para a economia e o desenvolvimento industrial, como a Transamazônica e a hidrelétrica de Itaipu (Foz do Iguaçu), mas que geraram alto impacto ambiental e despertaram a conscientização e o respeito pelos recursos naturais e pela natureza. Diante das pressões nacionais e internacionais, em 1989 foi fundado o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) com a missão de proteger o meio ambiente, garantir a qualidade ambiental e assegurar a sustentabilidade no uso dos recursos naturais, executando as ações de competência federal.

Atualmente o IBAMA é uma instituição de excelência para o cumprimento de seus objetivos institucionais relativos ao licenciamento ambiental, ao controle da qualidade ambiental, à autorização de uso dos recursos naturais e à fiscalização, ao monitoramento e ao controle ambiental. Compete ao IBAMA a elaboração do sistema de informação, o monitoramento (principalmente de desmatamentos, queimadas e incêndios florestais) e a fiscalização ambiental, além do estabelecimento de critérios para a gestão do uso dos recursos faunísticos, pesqueiros e florestais e a aplicação de penalidades administrativas, exercendo o poder da Polícia Federal.

Em 2007, o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) foi criado com o propósito de executar as ações do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC). O ICMBio possui a competência de propor, implantar, gerir, proteger, fiscalizar e monitorar o uso público e a exploração econômica dos recursos naturais nas Unidades de Conservação (UCs) onde isso for permitido, obedecendo as exigências legais e de sustentabilidade do meio ambiente, aplicando penalidades administrativas se necessário. Cabe a ele ainda fomentar e executar programas de pesquisa, proteção, preservação e conservação da biodiversidade e exercer o poder de polícia ambiental para a proteção das Unidades de Conservação Federais. O IBAMA e o ICMBio, bem como o JBRJ (Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro), são entidades vinculadas ao Ministério do Meio Ambiente.

Com a criação do ICMBio, o IBAMA transferiu para esse novo órgão as atribuições ligadas à gestão das unidades, da educação ambiental e da maioria dos centros

especializados. Logo, o IBAMA exerce ações prioritariamente relacionadas ao licenciamento de obras, às questões agrárias rurais, à triagem de animais silvestres, entre outros, enquanto o ICMBio exerce atividades gerenciais e de proteção das Unidades de Conservação Federais. Ambos são autarquias federais ligadas ao MMA, que, junto ao Instituto Estadual do Ambiente do Rio de Janeiro (Inea), integram o Sisnama (Sistema Nacional do Meio Ambiente).

Associados ao MMA e ao MAPA, alguns bancos, federais ou privados, promovem projetos de desenvolvimento social e econômico ao país. Um dos maiores fundos ambientais do mundo é o Fundo Amazônia, gerido pelo BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social). Esse fundo tem por finalidade captar doações para investimentos não reembolsáveis em ações de prevenção, monitoramento e combate ao desmatamento, e de promoção da conservação e do uso sustentável das florestas no bioma Amazônia, nos termos do Decreto n° 6.527, de 1° de agosto de 2008. Já são mais de 1 milhão de imóveis rurais inscritos no Cadastro Ambiental Rural (CAR), 193 mil pessoas beneficiadas com atividades produtivas e R\$ 214 milhões em receitas obtidas com a comercialização de produtos.

Isso demonstra que há possibilidades de produzir alimento para o Brasil e o mundo de maneira sustentável. Aliado a esses ideais, foi decretada, em 28 de novembro de 2019, a instituição da REDD+, uma comissão nacional para Redução das Emissões de Gases de Efeito Estufa Provenientes do Desmatamento e da Degradação Florestal, Conservação dos Estoques de Carbono Florestal, Manejo Sustentável de Florestas e Aumento de Estoques de Carbono Florestal.

Outro exemplo de projeto é o FCO Rural (Fundo de Financiamento do Centro-Oeste), criado pela Constituição Federal de 1988 e financiado pelo Banco do Brasil, com o objetivo de promover o desenvolvimento econômico e social dessa região. Os investimentos nas atividades agropecuárias apresentam linhas de apoio ao Programa ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono), à retenção de fêmeas bovinas na planície pantaneira, à adequação do sistema de produção pecuário na região de fronteira e à agropecuária irrigada, além de algumas linhas destinadas à aquicultura e outras ao PRONAF. O teto máximo de investimento é de R\$ 100 milhões, por cliente, grupo empresarial ou grupo agropecuário, e destina pelo menos 51% do volume de recursos aos minis, pequenos e pequenos-médios produtores rurais. O apoio à produção sustentável pode ser visto nas seguintes linhas de financiamento.

- Produção agropecuária.
- Irrigação e drenagem agrícolas.
- Inovação tecnológica nas propriedades rurais.
- Construção e modernização de benfeitorias e instalações destinadas à produção no sistema de integração.
- Implantação de sistemas agroflorestais; florestamento e reflorestamento para fins energéticos, madeireiros e de celulose; implantação de viveiros regionais; recuperação de áreas e de pastagens degradadas; implantação de culturas permanentes.
- Tratamento de efluentes oriundos de atividades agropecuárias.
- Produção de alimentos associados a práticas ecologicamente sustentáveis.
- Implantação de manejo florestal sustentado de baixo impacto.
- Regularização e recuperação de áreas de reserva legal e de preservação permanente degradadas.
- Construção e modernização de benfeitorias e instalações destinadas à produção no sistema de integração.
- Outros.

Como visto, há políticas de incentivos e auxílio para a produção ecologicamente viável. Respeitar os limites de extração de recursos naturais e seguir a legislação vigente permite que o sistema de produção de ruminantes exerça grande potencial produtivo e econômico, beneficiando o bem-estar animal, a diversificação dos produtos e o equilíbrio do ecossistema. Atualmente o mercado consumidor está exigente quanto às condições de criação dos animais destinados à alimentação humana. Diversas pesquisas têm mostrado que as pessoas se preocupam com a origem e o bem-estar dos animais de produção. Logo, além de se tornarem um pré-requisito, produtos alimentícios de origem animal e vegetal produzidos com sustentabilidade ambiental possuem maior valor agregado, maiores preços de venda e maior tendência a alcançarem os clientes mais exigentes, além da oportuna vantagem de estarem alinhados com as tendências futuras de mercado.

Entre as atividades de alto impacto econômico, a agricultura e a pecuária naturalmente geram emissões de gases de efeito estufa (GEE) para a atmosfera, principalmente aqueles compostos de carbono (CO₂ e CH₄) e de nitrogênio (N₂O). Embora essa contribuição expresse uma baixa porcentagem da poluição atmosférica mundial, medidas de mitigação dos GEE na agropecuária se comprometem a reduzir os níveis de poluição atmosférica. Na 15^a Conferência das Partes da Convenção do Clima

das Nações Unidas (COP-15), o governo brasileiro assumiu o compromisso de reduzir entre 36,1 e 38,9% as emissões de GEE projetadas para 2020, redução essa equivalente a 1 bilhão de toneladas de GEE. Portanto, a fim de contribuir para a produção de ruminantes que seja viável economicamente e correta ecologicamente, algumas políticas públicas apoiam o desenvolvimento da pecuária com investimentos financeiros e técnicos baseados em pesquisas científicas.

O Plano ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono) é um plano setorial de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas para a consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na agricultura nacional. Sob coordenação da Casa Civil da Presidência da República, do MAPA e do antigo MDA, mais de 30 instituições governamentais, não governamentais e da iniciativa privada contribuíram para sua formação e, então, aprovação em 2011. O plano ABC apresenta alto potencial de mitigação das emissões de GEE e combate ao aquecimento global, atuando de forma estratégica em sete programas.

- 1) Recuperação de Pastagens Degradadas.
- 2) Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) e Sistemas Agroflorestais (SAFs).
- 3) Sistema Plantio Direto (SPD).
- 4) Fixação Biológica do Nitrogênio (FBN).
- 5) Florestas Plantadas.
- 6) Tratamento de Dejetos Animais.
- 7) Adaptação a Mudanças Climáticas.

Para cada programa são oferecidas ações, como fortalecimento da assistência técnica, capacitação e informação, estratégias de transferência de tecnologia, dias de campo, palestras, seminários, *workshops*, implantação de Unidades de Referência Tecnológica (URTs), campanhas de divulgação e chamadas públicas para contratação de serviços de ATER. São propostas metas e prazos para realização dessas ações e obtenção dos resultados esperados.

A estrutura para execução desse plano se baseia em divulgação, capacitação de técnicos e produtores rurais, crédito rural, transferência de tecnologia, regularização ambiental, regularização fundiária, assistência técnica e extensão rural, realização de estudos e pesquisa, desenvolvimento e inovação, disponibilização de insumos e produção de sementes e mudas.

Os beneficiários do programa são os produtores rurais e suas cooperativas, inclusive para repasse a cooperados por meio de investimentos fixos e semifixos, desde que relacionados a algum dos sete programas descritos. O produtor, mediante documentação exigida (Resolução nº 3.896, de 17 de agosto de 2010), pode aderir ao programa e adquirir itens financiáveis, como:

- a) despesas relacionadas à elaboração de projeto técnico, georreferenciamento e regularização ambiental;
- b) assistência técnica necessária até a fase de maturação do projeto;
- c) aquisição, transporte, aplicação e incorporação de corretivos agrícolas (calcário e outros);
- d) marcação e construção de terraços e implantação de práticas conservacionistas do solo;
- e) adubação verde e plantio de cultura de cobertura do solo;
- f) aquisição de sementes e mudas para formação de pastagens, culturas e florestas;
- g) implantação de viveiros de mudas e florestas;
- h) operações de destoca;
- i) implantação e recuperação de cercas; aquisição de energizadores de cerca; aquisição, construção ou reformas de bebedouros e de saleiros ou cochos para sal;
- j) aquisição de animais e sêmen de bovinos, ovinos e caprinos, para reprodução, recria e terminação;
- k) aquisição de máquinas e equipamentos para a agricultura e/ou a pecuária não financiáveis pelos Programas de Modernização da Frota de Tratores Agrícolas e Implementos Associados e Colheitadeiras (Moderfrota) e de Incentivo à Irrigação e à Armazenagem (Moderinfra).

Segundo o sumário executivo do observatório ABC, “nenhum dos itens acima, isoladamente, constitui-se em tecnologia agrícola com potencial para redução de carbono. Se o item for financiado separadamente de um conjunto mais amplo de iniciativas associadas a um sistema produtivo de baixo carbono, o financiamento não irá cumprir seu papel. No caso das operações de destoca, o financiamento concedido sem salvaguardas pode ser até mesmo um incentivo perverso ao desmatamento, já que estas operações também são executadas logo após a abertura de novas áreas”.

Esses itens podem ser financiados até R\$1.000.000,00 (um milhão de reais) por beneficiário, por ano-safra, independentemente de outros créditos concedidos ao amparo

de recursos controlados do crédito rural. Admite-se a concessão de mais de um crédito por tomador por ano-safra, quando a atividade assistida requerer, ficar comprovada a capacidade de pagamento do beneficiário e o somatório dos valores das operações não exceder o limite de crédito estabelecido para cada agricultor pelo programa. A liberação do crédito pode ser feita de uma só vez ou em parcelas, conforme o cronograma do projeto. O reembolso é definido de acordo com o projeto técnico e com o fluxo de receitas da propriedade beneficiada, variando de oito a 12 anos.

A partir dos compromissos ratificados pela Política Nacional sobre Mudanças do Clima, o Plano ABC consolidou a Rede ILPF, fundada e cofinanciada em 2012 pelas empresas Bradesco, Ceptis, Cocamar, John Deere, Soesp, Syngenta e pela Embrapa. Tem por objetivo a capacitação de assistência técnica (ATER), a comunicação informativa e a ampla adoção das tecnologias de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) em fazendas de pequeno, médio e grande porte.

Segundo a Embrapa, essa tecnologia reúne, em uma única propriedade, a produção de grãos, carne ou leite, além de produtos madeireiros e não madeireiros ao longo de todo ano. O resultado dessa combinação é o aumento da renda do produtor rural e a redução na pressão por desmatamento de novas áreas com florestas nativas. Além disso, visa à diminuição das emissões de gases de efeito estufa (GEE), uma vez que sistemas de ILPF possuem grande potencial de sequestro de carbono pelos elevados acúmulos de biomassa forrageira e florestal e acúmulo de matéria orgânica no solo. A Rede ILPF atualmente apoia uma outra com 16 Unidades de Referência Tecnológica (URT) e 12 Unidades de Referência Tecnológica e de Pesquisa (URTP), distribuídas entre os biomas brasileiros e envolvendo a participação de 22 Unidades de Pesquisa da Embrapa.

"Essa expansão se dará em áreas de pastagens em degradação, ou seja, já antropizadas, e sem derrubar uma única árvore. Com esse sistema, o produtor pode, ainda, atender à legislação ambiental, realizando a adequação da área com a constituição, por exemplo, da Reserva Legal e da Área de Preservação Permanente sem comprometer a rentabilidade do negócio", relata Luiz Carlos Balbino, chefe-adjunto de Transferência de Tecnologia da Embrapa Cerrados e presidente do Conselho Técnico da Rede de Fomento em ILPF (Embrapa Cerrados, 2013).

A atuação de uma ATER qualificada para a implementação de sistemas ILPF é fundamental para aumentos expressivos de produtividade e rentabilidade do negócio, pois, para obter resultados ainda melhores, a ILPF pode estar combinada também a outras

tecnologias, como o Sistema de Plantio Direto, a fixação biológica de nitrogênio, a recuperação de pastagens degradadas, o uso de cultivares melhorados e de boas práticas agropecuárias.

A ILPF pode ser adotada em qualquer perfil de propriedade rural, desde que as condições de clima, solo e relevo não sejam restritivas, considerando as possibilidades de comercialização de seus produtos, logística para captação de insumo e colheitas e disponibilidade de assistência técnica qualificada e de mão de obra. Pode ser requerida através das linhas de crédito do PRONAF ou do Programa ABC.

Como forma de ampliar a atividade da Comissão Rede ILPF, foi sancionada a lei 12.805, de 29 de abril de 2013, que institui a Política Nacional de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF). O objetivo dessa política cursa junto com os da Rede ILPF, com ênfase na recuperação de pastagens degradadas e na adoção do plantio direto, na estimulação de pesquisas, no desenvolvimento e na inovação tecnológica e nas atividades de transferência de tecnologias acerca dos sistemas integrados de produção.

"Essa lei será um importante instrumento para apoiar políticas públicas para a ampliação da adoção da ILPF em todo o território brasileiro", afirma Luiz Carlos Balbino (Embrapa Cerrados, 2013).

A estratégia da ILPF abrange 4 (quatro) modalidades de sistemas, caracterizados conforme a seguir.

I - Integração Lavoura-Pecuária ou Agropastoril: sistema que integra os componentes agrícola e pecuário, em rotação, consórcio ou sucessão, na mesma área, em um mesmo ano agrícola ou por múltiplos anos.

II - Integração Lavoura-Pecuária-Floresta ou Agrossilvipastoril: sistema que integra os componentes agrícola, pecuário e florestal, em rotação, consórcio ou sucessão, na mesma área.

III - Integração Pecuária-Floresta ou Silvipastoril: sistema que integra os componentes pecuário e florestal em consórcio.

IV - Integração Lavoura-Floresta ou Silviagrícola: sistema que integra os componentes florestal e agrícola, pela consorciação de espécies arbóreas com cultivos agrícolas, anuais ou perenes.

Legislação

O Código Florestal vigente foi instituído pela Lei Federal nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Segundo ele, todos os imóveis rurais devem estar cadastrados no sistema governamental de Cadastro Ambiental Rural (CAR), um instrumento do Código Florestal que auxilia no processo de regularização ambiental. Ele estabelece normas para a proteção da vegetação, das Áreas de Preservação Permanente (APP) e das áreas de Reserva Legal (RL), para a exploração florestal, o suprimento de matéria-prima florestal, o controle da origem dos produtos florestais e o controle e a prevenção dos incêndios florestais, e prevê instrumentos econômicos e financeiros para o alcance de seus objetivos. Além disso, fornece informações georreferenciadas, diagnóstico ambiental, planejamento do imóvel, recuperação de áreas degradadas, formação de corredores ecológicos, conservação de recursos naturais e melhora da qualidade ambiental.

O Código Florestal, a partir do CAR, estabelece importantes normas referentes à preservação das APPs e RLs dentro da propriedade. As APPs são áreas protegidas cobertas ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas. Por isso, são áreas de preservação que margeiam fontes, represamentos e cursos d'água. As faixas mínimas obrigatórias de composição das APPs variam de acordo com o tamanho da propriedade e da dimensão das fontes hídricas.

As RLs são áreas localizadas no interior de uma propriedade ou posse rural, com a função de assegurar o uso econômico de modo sustentável dos recursos naturais do imóvel rural, auxiliar a conservação e a reabilitação dos processos ecológicos e promover a conservação da biodiversidade, bem como o abrigo e a proteção da fauna silvestre e da flora nativa. Referem-se, então, à porção da propriedade que deve ser mantida ambientalmente íntegra. As proporções mínimas obrigatórias de RL a serem mantidas variam de acordo com a delimitação geográfica de duas regiões definidas neste código, a Amazônia Legal – composta pelos estados do Acre, Amazônia, Pará, Rondônia, Roraima, Amapá, Tocantins, Mato Grosso e parte oeste do Maranhão –, e demais estados brasileiros. A Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, em complementariedade com a Lei nº 12.727, de 17 de outubro de 2012, dispõe, dentre outros, da regulamentação e das orientações legais sobre o uso da terra e a proteção dos recursos naturais para garantir sustentabilidade das atividades agropecuárias.

1) *Sobre as Áreas de Preservação Permanente:*

Art. 61-A. Nas Áreas de Preservação Permanente, é autorizada, exclusivamente, a continuidade das atividades agrossilvipastoris, de ecoturismo e de turismo rural em áreas rurais consolidadas até 22 de julho de 2008.

§ 6º Para os imóveis rurais que possuam áreas consolidadas em Áreas de Preservação Permanente no entorno de lagos e lagoas naturais, será admitida a manutenção de atividades agrossilvipastoris, de ecoturismo ou de turismo rural, sendo obrigatória a recomposição de faixa marginal com larguras mínimas de acordo com a área do imóvel (módulos fiscais).

§ 7º Nos casos de áreas rurais consolidadas em veredas, será obrigatória a recomposição das faixas marginais, em projeção horizontal, delimitadas a partir do espaço brejoso e encharcado, com larguras mínimas de acordo com a área do imóvel (módulos fiscais).

Art. 61-B. Aos proprietários e possuidores dos imóveis rurais que, em 22 de julho de 2008, detinham até 10 (dez) módulos fiscais e desenvolviam atividades agrossilvipastoris nas áreas consolidadas em Áreas de Preservação Permanente é garantido que a exigência de recomposição, nos termos desta Lei, somadas todas as Áreas de Preservação Permanente do imóvel, não ultrapassará:

I - 10% (dez por cento) da área total do imóvel, para imóveis rurais com área de até 2 (dois) módulos fiscais;

II - 20% (vinte por cento) da área total do imóvel, para imóveis rurais com área superior a 2 (dois) até 4 (quatro) módulos fiscais.

2) *Sobre a Reserva Legal:*

Art. 12. Todo imóvel rural deve manter área com cobertura de vegetação nativa, a título de Reserva Legal, sem prejuízo da aplicação das normas sobre as Áreas de Preservação Permanente, observados os seguintes percentuais mínimos em relação à área do imóvel, excetuado os casos previstos no art. 68 desta Lei:

I - Localizado na Amazônia Legal:

a) 80% (oitenta por cento), no imóvel situado em área de florestas;

b) 35% (trinta e cinco por cento), no imóvel situado em área de Cerrado;

c) 20% (vinte por cento), no imóvel situado em área de campos gerais;

II - Localizado nas demais regiões do País: 20% (vinte por cento).

É preciso estar atento à legislação para exercer as atividades agropecuárias no Brasil relativas a alimentos, de origem animal ou vegetal, de modo seguro ao produtor e sustentável para o meio ambiente.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O avanço desenfreado das atividades de desenvolvimento humano gerou efeitos negativos e acumulativos no equilíbrio da natureza. Institutos como o IPCC têm demonstrado a realidade da agressão que exercemos ao meio ambiente e alertado para os perigos iminentes, bem como proposto planos de ação para mitigar esses efeitos. Já os órgãos e as organizações internacionais, como a ONU, tornaram-se o centro de referência de estudos, debates e propostas para que os países parte, juntos e em acordo, consigam manter o equilíbrio entre desenvolvimento socioeconômico e a preservação dos recursos naturais e dos ecossistemas terrestres.

As políticas governamentais, por meio de seus projetos e programas, são o elo entre a ideologia do desenvolvimento sustentável e a efetivação prática de suas metas. A partir dessas políticas, é possível planejar, formular estratégias e monitorar linhas de ação para honrar os acordos internacionais assinados.

Os investimentos em sistemas sustentáveis de produção de ruminantes são evidentemente corretos e estimulados. Exemplificam-se por ações simples, como a recuperação de pastagens degradadas e o adequado uso do solo, até ações mais complexas, como a adoção de sistemas integrados. Diversas são as opções e as medidas que podem ser tomadas nas fazendas de todo o Brasil, munidas de auxílios governamentais e empresarial para as diferentes classes sociais (pequenos e grandes produtores), as quais têm a capacidade de melhorar a eficiência produtiva e agregar valor ao produto, ao mesmo tempo em que promovem a preservação da natureza.

É ultrapassada a ideia de produzir alimentos, ou qualquer outro produto, desprezando-se a consciência ambiental. De nada adianta obter a máxima produção, crescimento e lucratividade em contraponto à contribuição para evitar o colapso ambiental mundial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. Decreto nº 6.527, de 1 de agosto de 2008. Dispõe sobre o estabelecimento do Fundo Amazônia pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social - BNDES. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 4 ago. 2008. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2008/Decreto/D6527.htm>. Acesso em: 30 ago. 2020.

BRASIL. Decreto nº 7.794, de 20 de agosto de 2012. Institui a Política Nacional de Agroecologia e Produção Orgânica. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 22 ago. 2012. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Decreto/D7794.htm#:~:text=DECRETO%20N%C2%BA%207.794%2C%20DE%2020,vista%20o%20disposto%20no%20art.>. Acesso em: 30 ago. 2020.

BRASIL. Decreto nº 9.672, de 2 de janeiro de 2019. Aprova a Estrutura Regimental e o Quadro Demonstrativo dos Cargos em Comissão e das Funções de Confiança do Ministério do Meio Ambiente, remaneja cargos em comissão e funções de confiança e substitui cargos em comissão do Grupo-Direção e Assessoramento Superiores - DAS por Funções Comissionadas do Poder Executivo - FCPE. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 2 jan. 2019. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2019/decreto/D9672.htm>. Acesso em: 30 ago. 2020.

BRASIL. Lei nº 11.947, de 16 de junho de 2009. Dispõe sobre o atendimento da alimentação escolar e do Programa Dinheiro Direto na Escola aos alunos da educação básica; altera as Leis nos 10.880, de 9 de junho de 2004, 11.273, de 6 de fevereiro de 2006, 11.507, de 20 de julho de 2007; revoga dispositivos da Medida Provisória no 2.178-36, de 24 de agosto de 2001, e a Lei no 8.913, de 12 de julho de 1994; e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 17 jun. 2009. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2009/Lei/L11947.htm>. Acesso em: 30 ago. 2020.

BRASIL. Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 30 dez. 2009. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2009/Lei/L12187.htm#:~:text=LEI%20N%C2%BA%2012.187%2C%20DE%2029%20DE%20DEZEMBRO%20DE%202009.etext=Institui%20a%20Pol%C3%ADtica%20Nacional%20sobre,Art.>. Acesso em: 30 ago. 2020.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 28 mai. 2012. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm>. Acesso em: 30 ago. 2020.

BRASIL. Lei nº 12.727, de 17 de outubro de 2012. Altera a Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; e revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001, o item 22 do inciso II do art. 167 da Lei nº 6.015, de 31 de dezembro de 1973, e o § 2º do art. 4º da Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 18 out. 2012. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/L12727.htm#:~:text=Esta%20Lei%20estabelece%20normas%20gerais,e%20prev%C3%AAs%20instrumentos%20econ%C3%B4micos%20e>. Acesso em: 30 ago. 2020.

Bruinsma, J. World Agriculture: Towards 2015/2030 - An Fao Perspective. 2003. London. Ed. Earthscan Publications Ltd. 432 p. ISBN: 92 5 104835 5.

Carta de Serviços. 2020. Ministério Da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). 18 jun. 487 p.

Figueiredo, R. C.; Ramirez, M. A.; Gonçalves, L. C.; Oliveira, A. F.; Santos, D.; Rabelo, A. B.; Menezes, R. A.; Menezes, G. L.; Gomes, M. B.; Benitez, A. C. 2019. O protagonismo do conselho municipal de desenvolvimento rural sustentável (CMDRS) na democratização das políticas públicas para o meio rural. *In: Gonçalves, Lúcio Carlos; Ramirez, Matheus Anchieta; Oliveira, Alan Figueiredo. Tópicos de setor agrário e de extensão rural*. 1. ed. Belo Horizonte: Editora FEPE. p. 48-57.

Figueiredo, R. C.; Oliveira, A. F.; Ramirez, M. A.; Gonçalves, L. C.; Santos, D.; Menezes, R. A.; Menezes, G. L.; Pires, F. P. A. A.; Rabelo, A. B.; Ananias, J, v. A. 2019. Programas federais de fomento para a agricultura familiar no brasil. *In: Gonçalves, Lúcio Carlos; Ramirez, Matheus Anchieta; Oliveira, Alan Figueiredo. Tópicos de setor agrário e de extensão rural*. 1. ed. Belo Horizonte: Editora FEPE. p. 93-105.

Gonçalves, L. C.; Ramirez, M. A.; Teixeira, A. M.; Santos, D.; Pires, F. P. A. A.; Menezes, R. A.; Silva, B. O.; Netto, A. P. A. 2016. Modernização da agricultura no Brasil. *In: Gonçalves, L. C.; Ramirez, M. A.; Santos, D. (org.). Extensões rurais e conexões*. 1. ed. Belo Horizonte: Ed. FEPE. p.37 50-.

Gonçalves, L. C.; Ramirez, M. A.; Teixeira, A. M.; Oliveira, J. P. C. A.; Santos, D.; Pires, F. P. A. A.; Menezes, R. A.; Teixeira, F. M. 2016. Políticas de extensão rural no Brasil. *In: Gonçalves, L. C.; Ramirez, M. A.; Santos, D. (org.). Extensões rurais e conexões*. 1. ed. Belo Horizonte: Ed. FEPE. p. 80-97.

Gonçalves, L. C.; Ramirez, M. A.; Teixeira, A. M.; Oliveira, J. P. C. A.; Santos, D.; Pires, F. P. A. A.; Menezes, R. A.; Oliveira, L. F. L.; Teixeira, F. M. 2016. Programas de educação continuada em extensão rural. *In: Gonçalves, L. C.; Ramirez, M. A.; Santos, D. (org.). Extensões rurais e conexões*. 1. ed. Belo Horizonte: Ed. FEPE. p. 98-112.

Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama). Ministério do Meio Ambiente (MMA). Disponível em: < <https://www.gov.br/ibama/pt-br>>. Acesso em: 30 ago. 2020.

Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio). Ministério do Meio Ambiente (MMA). Disponível em: < <https://www.icmbio.gov.br/portal/>>. Acesso em: 30 ago. 2020.

Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Ministério da Agricultura, Pecuária e abastecimento (MAPA). Disponível em: < <https://portal.inmet.gov.br/>>. Acesso em: 30 ago. 2020.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. Disponível em: < <http://www.inpe.br/>>. Acesso em: 30 ago. 2020.

IPCC. 2006: Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: A primer, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Miwa K., Srivastava N. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan.

IPCC. 2020: Climate Change and Land: An IPCC Special Report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. *Summary for Policymakers*. [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)]. 2020. 36 p.

IPCC Reports. The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Disponível em: < <https://www.ipcc.ch/reports/>>. Acesso em: 30 ago. 2020.

IPCC. 2007: Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 pp.

IPCC. 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

IPCC. 2018: Summary for Policymakers. In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. In Press.

Lal, R. 2016. Beyond COP21: Potential and challenges of the “4 per Thousand” initiative. *Journal of Soil and Water Conservation*, jan./feb., vol. 71, n. 1.

Ministério da Agricultura, Pecuária e abastecimento (MAPA). Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br>>. Acesso em: 30 ago. 2020.

Ministério do Meio Ambiente (MMA). Disponível em: <<https://www.mma.gov.br>>. Acesso em: 30 ago. 2020.

Oliveira, A. F.; Ramirez, M. A.; Gonçalves, L. C.; Figueiredo, R. C.; Santos, D.; Menezes, Menezes, G. L.; Pires, F. P. A. A.; Lopes, T. S. B.; Gomes, M. B.; Ananias, J, v. A. 2019. Configuração histórica do setor agrário brasileiro. In: Gonçalves, Lúcio Carlos; Ramirez, Matheus Anchieta; Oliveira, Alan Figueiredo. *Tópicos de setor agrário e de extensão rural*. 1. ed. Belo Horizonte: Editora FEPE. p. 1-20.

Organização das Nações Unidas (ONU). Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/>>. Acesso em: 30 ago. 2020.

IPCC. 2019. Overview: Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. [Gómez, D., Irving W. (eds.)]. 15 p.

Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura: Plano ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono). Ministério Da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Brasília. 2012. 173 p. ISBN 978-85-7991-062-0.

Rede iLPF. Disponível em: < <https://www.redeilpf.org.br/>>. Acesso em: 30 ago. 2020.

United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. 2013. World Population Prospects: The 2012 Revision, Highlights and Advance Tables. Working. Paper n. ESA/P/WP.228.

United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. 2019. World Population Prospects 2019: Highlights (ST/ESA/SER.A/423). ISBN: 978-92-1-148316-1.

Wander, A. E.; Tomaz, G. A.; Pinto, H. E. 2016. Uma avaliação formativa do Plano ABC. *Revista Política Agrícola*. Ano XXV. N. 3. jul./ago./set. Disponível em: <https://seer.sede.embrapa.br/index.php/RPA/article/view/1156>>. Acesso em: 30 ago. 2020.

CAPÍTULO 19

OS SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO DIANTE DA EXIGÊNCIA DA SUSTENTABILIDADE

Matheus Anchieta Ramirez; Alan Figueiredo de Oliveira; Daniela Aparecida Barroso Siste; Lúcio Carlos Gonçalves; Pamella Grossi de Sousa; Frederico Patrus Ananias de Assis Pires; Rafael Araújo de Menezes; Guilherme Lobato Menezes

RESUMO

Este capítulo apresenta a perspectiva da transformação dos sistemas integrados como alternativa ao modelo convencional. A produção agrícola é uma marca cultural das populações humanas. Diante das intensas transformações agrícolas requeridas pela Revolução Industrial, o modelo agrícola passou por grandes mudanças. A principal delas é a utilização de adubos e de outros insumos agroquímicos nas plantações. Esta, que é reconhecida como a primeira Revolução Agrícola, foi marcada pela simplificação dos sistemas de produção, com a separação da produção vegetal da produção animal. Após a Segunda Guerra Mundial, o modelo agrícola passou por novo processo de modernização, a Revolução Verde. Com a intensificação da utilização de insumos químicos e a artificialização dos sistemas de produção, esse processo de modernização criou uma nova ideologia envolvendo a produção agropecuária, o produtivismo. Essa ideologia é caracterizada por modelo agrícola convencional, que predominou no mundo a partir da década de 1970. É nesse contexto que surge a exigência social da redução dos impactos sociais e ambientais da produção agropecuária. Sob o prisma da sustentabilidade, os modelos integrados são apresentados como alternativas ao modelo convencional. A superação dos modelos convencionais passa pelo desenvolvimento de sistemas integrados, sendo esse um dos passos da transição agroecológica. Porém, para que os modelos integrados sejam realmente alternativos, é necessária a ruptura com a ideologia produtivista, principalmente no que tange ao arranjo social vinculado à produção agropecuária.

INTRODUÇÃO

A produção agrícola passou a fazer parte das sociedades humanas a partir do momento em que os primeiros grupamentos humanos passaram da fase nômade para a sedentária. É justamente o domínio da agricultura que permitiu essa transformação dos grupamentos humanos e a construção das sociedades como conhecemos hoje. Quando a

humanidade transitou da caça e coleta de alimentos para a domesticação de plantas e animais, a produção agrícola passou a ser um aspecto cultural de identidade dos povos, como uma espécie de base das construções sociais que se seguiram à história da humanidade. Por isso, temas relativos à agricultura são sensíveis à organização da ordem social e perfazem o ideário e as concepções ideológicas de todos os povos.

Historicamente a dinâmica da produção agrícola pode ser relacionada às formas de reprodução da capacidade produtiva das sociedades, da limitação da produção e da reprodução social, pela insuficiência da produção agrícola e pela superprodução de *commodities* agrícolas. Portanto, a agricultura se comporta como alicerce das economias em todas as formas de desenvolvimento social. Como produtora de gêneros de consumo básicos, apresenta importância estratégica no desenvolvimento econômico e na manutenção do equilíbrio social e guarda valores culturais em qualquer país e sob qualquer regime político ou social.

Apesar de sua importância histórica, as preocupações envolvendo a agricultura apenas se modificaram recentemente, pois, até meados da década de 1970, as preocupações envolvendo a produção agropecuária eram relativas apenas à escassez. Como exemplo, pode-se citar que, no Império Romano (Silva, 2017) e na crise brasileira dos anos 1950 (Prado JR, 1963), a insuficiência da produção agrícola constituiu as origens do caos social. Assim, todos os esforços se traduziam em práticas cuja finalidade era o aumento da produção. Porém, a partir da década de 1970, as discussões envolvendo a produção agrícola passaram a englobar também os impactos ambientais e sociais do modelo agrícola. Esse debate apontou para a redução dos impactos ambientais da produção agropecuária, mas também exigiu uma nova configuração social relativa à produção agrícola. Desse modo, as discussões seguem para além dos aspectos produtivos. Paralelamente à necessidade do aumento da produção, surge a necessidade de busca pela “sustentabilidade” envolvendo a produção agropecuária.

A sustentabilidade na produção agropecuária se transformou em tema de disputa entre grupos organizados. Porém, essa temática é apresentada de forma pouco transparente, e até mesmo controversa. Para além dos modelos de produção, esta constitui em retórica nas disputas a partir da década de 1980 (Prado, 2004), processo que culminou na formação de movimentos sociais do tipo “ecossocialistas” (Lowy, 2014). No entanto, sob a égide da agroecologia, esse debate envolvendo a produção agropecuária se transformou em movimento político, em alguns casos associado a movimentos sociais de

luta pela posse da terra. Esses movimentos convergem para a exigência de mudança do modelo agrícola e para a redução dos impactos da produção agropecuária.

Nesse sentido, os sistemas integrados passam a ser apontados por muitos autores (Balbino *et al.*, 2012; Moraes *et al.*, 2014; Toledo, 2017; Costa *et al.*, 2018) como alternativas ao modelo de monoculturas, com a defesa de que são modelos sustentáveis e que atendem às exigências dos movimentos sociais e à organização de consumidores relativas à produção agropecuária “limpa”. Porém, boa parte dessa discussão se faz de modo superficial, envolvendo unicamente os aspectos produtivos ou abordando a temática de forma tangencial e com análises parciais dos aspectos sociais. Em geral, ignora-se a importância das formações sociais, culturais e ideológicas que envolvem e diferenciam os modelos agrícolas. Desse modo, é necessário maior aprofundamento da análise das formações ideológicas envolvendo os modelos agrícolas em questão.

Antes de se apontar se os modelos integrados são ou não alternativos à produção agropecuária “convencional”, deve-se analisar com cuidado o que é esse modelo “convencional”, quais são os seus componentes ideológicos e qual é o seu comprometimento ideológico. A partir dessa análise, será possível proceder à avaliação dos modelos integrados como alternativas e como respostas para as exigências dos grupos organizados que se opõem à lógica agrícola dominante.

Objetivou-se, portanto, com este capítulo, descrever e analisar as revoluções agrícolas até o surgimento do modelo agrícola contemporâneo, com atenção para seus impactos. Em seguida, são analisados os sistemas alternativos e os modelos de ruptura ao sistema dominante. Por fim, propõe-se discussão sobre a inscrição dos sistemas agroflorestais na rubrica dos sistemas sustentáveis.

Porém, antes do início das discussões apresentadas, é importante atentar para o fato de que as análises são restritas aos modelos e aos fenômenos que envolvem a produção agropecuária de matriz eurocêntrica. Dessa forma, são alvos deste trabalho apenas modelos agrícolas criados ou validados em contextos europeus ou norte-americanos, que posteriormente foram difundidos no restante do mundo. Ao contrário de se negar a importância dos sistemas de produção desenvolvidos em outras partes do mundo, como a Ásia, a África ou a dos povos ameríndios, esta discussão se restringe às questões apresentadas e aos impactos do modelo agrícola eurocêntrico.

A MODERNIZAÇÃO E AS REVOLUÇÕES AGRÍCOLAS

Desde o início do processo de domesticação de vegetais e animais, são constantes as mudanças e as inovações para o aprimoramento produtivo, o que se consubstancia em

processo contínuo de modernização agrícola. Porém, em vários períodos, essas mudanças acontecerem de modo processual contínuo, cujo resultado foi a completa transformação no modelo de produção agrícola, momentos que são identificados como “revoluções” agrícolas.

As Revoluções Agrícolas são transformações que criaram novos “modelos” agrícolas, que se constituíram como formas dominantes de produção. Ao lado desses modelos hegemônicos, coexistiram outras formas de produção alternativas, no entanto não são alvos deste capítulo.

A modernização agrícola da Idade Média à Modernidade

Durante a Idade Média, a produção agrícola é relacionada à capacidade de reprodução das populações humanas. Assim, qualquer processo de dinamização da produção manufaturada e de expansão das atividades comerciais, ou qualquer outra mudança na estrutura social, dependiam da produção agropecuária, que garantia a oferta de alimentos. Se a agricultura ganhava produtividade, todos os outros setores da sociedade, incluindo a economia, poderiam vivenciar transformações, assim como a queda na produção agrícola significava “crise” para essas sociedades. Porém, no final da Idade Média, a Europa vivenciou importantes inovações na produção agrícola, que culminaram em igualmente relevantes incrementos na produção agropecuária. A modernização agrícola e a reorganização social significaram mudanças da organização produtiva, que redundaram na passagem para o capitalismo (Baiard, 1997).

Entre as principais inovações tecnológicas estão a seleção de cultivos vegetais mais produtivos, a rotação de culturas e a inserção de produções animais junto aos modelos de cultivo vegetais (Baiard, 1997; Ehlers, 1999). A rotação de culturas com inserção de leguminosas e outras plantas que recompunham a fertilidade dos solos e o consórcio com a produção animal, por meio do esterco, permitiram a redução das áreas em pousio como consequência da recomposição mais rápida da fertilidade do solo.

De maneira direta, esse processo culminou na maior oferta de alimentos e fibras e permitiu o crescimento da população humana e das atividades econômicas, o que gerou recursos e liberou mão de obra para o setor manufatureiro. A partir desse marco, a produção agrícola é associada diretamente ao desenvolvimento industrial-capitalista. Assim, o capital depende da oferta de produtos agrícolas, alimentos e matérias-primas a baixo custo no mercado. Nesse sentido, quanto maior a oferta desses produtos no mercado, mais dinâmica é a economia do país. Assim, o setor urbano-industrial, como

componente principal de economias capitalistas, é sempre relacionado às dinâmicas de produção e de organização do setor agrário de cada sociedade (Furtado, 1974).

Esse processo inicial de modernização agrícola suportou a evolução do modelo de produção capitalista até próximo à Revolução Industrial (séc. XVIII), quando não foi mais capaz de sustentar as novas dinâmicas da produção capitalista. As sociedades transformadas pela Revolução Industrial exigiram um novo modelo agrícola, em consonância com os princípios do desenvolvimento urbano-industrial.

A primeira Revolução Agrícola: surge a agricultura moderna

Durante a Revolução Industrial, as sociedades europeias e dos Estados Unidos, que representam o capitalismo central, passaram por intensas transformações e ressignificações, entre elas a sobreposição do urbano ao rural. A modernidade abre um novo conjunto de valores, entre eles, a perspectiva do moderno como a artificialização do processo produtivo e da vida como um todo (Berman, 1989). Nesse sentido, o moderno passa a ser aquele que se opõe ao natural, em que quanto mais se transforma e domina a natureza, mais moderno o processo se consubstancia. Nessa construção ideológica, o meio rural e a produção agropecuária, relacionadas diretamente à natureza, são vistos como arcaicos, em oposição ao moderno. Assim, caberia ao rural a sua transformação segundo os princípios e os valores do urbano e moderno (Williams, 2011).

Entretanto, a modernidade não representou somente mudanças em relação aos valores sociais. A Revolução Industrial e a progressiva urbanização favoreceram também a migração do capital e do poder para as áreas urbanas. Essa migração promoveu o crescimento das áreas urbanas. Quanto às dinâmicas de trabalho e à sua relação com o tempo, a Revolução Industrial criou novos espaços de produção, as indústrias. O local de trabalho já não fazia parte do ambiente natural. Como a contagem do tempo já não guardava mais relação com a natureza, a jornada de trabalho passou a ser contada em horas, não tendo relação com os ciclos de trabalho próprios de cada estação. A produção industrial conseguiu, dessa forma, superar as condições naturais e, com estas, a possível sazonalidade da produção.

A reprodução do capital em ambientes artificializados e a nova dinâmica de controle do tempo, junto à incorporação de máquinas ao processo produtivo, criaram uma nova dinâmica de modernidade. Assim, esse novo modelo passou a se opor ao trabalho rural em harmonia com a natureza, que era sujeito aos ciclos biológicos e às estações do ano. Este encontrava-se associado ao atraso social e à baixa produtividade do capital e deveria ser substituído pelo modelo “moderno”. Nesse contexto, passam a ser exigidas

transformações da produção agropecuária para a modernidade (Berman, 1989). O crescimento da produção industrial e as novas dinâmicas do capitalismo requeriam maior produtividade agrícola em um modelo agrícola novo que dependesse menos da natureza.

A modernização que se dá em resposta a essas exigências tem como norte o aumento da produtividade da terra e do trabalho conjuntamente com a transformação da produção agrícola mais “independente” das condições naturais. Os conhecimentos disponíveis foram utilizados para fundamentar essa modernização. Uma vez que a ciência era um aspecto importante da modernidade, ela deveria direcionar as transformações da produção agropecuária e todo o processo de modernização do campo. Nesse contexto, as áreas da química e da biologia ganharam importância no desenvolvimento rural.

Foram conduzidos experimentos de nutrição vegetal, com a avaliação do efeito de cada elemento para a nutrição das plantas. Os estudos de Justus von Liebig (1803 -1873) abriram caminho para a nutrição mineral de vegetais, processo que passou a ser conhecido como adubação química (Epstein e Bloom, 2004). A adubação química das lavouras não só atendeu às exigências nutricionais das plantas, mas também proporcionou a transformação do modelo agrícola. A partir dela, foi possível a seleção genética de plantas mais produtivas, com aumento do potencial de produção agrícola. Porém, a transformação mais importante da adubação química das lavouras foi a simplificação dos sistemas produtivos, que não mais necessitariam da integração com animais e da rotação de culturas para manutenção ou recuperação da fertilidade do solo, e a eliminação de áreas em pousio também foi alcançada. A mecanização, que era ligada à quimificação, representou ganho de eficácia do trabalho e possibilitou menor utilização de mão de obra na agricultura. Essa mecanização foi requerida pela menor disponibilidade de mão de obra associada à maior necessidade de tratos e manejos culturais nas lavouras.

Desse modo, mais áreas foram incorporadas ao processo produtivo, o que, associado à eliminação na produção animal direcionada à produção de esterco para a recomposição da fertilidade dos solos, aumentou a produção agrícola global. Esse aumento de produção e de produtividade agrícola acompanhou os ganhos de produtividade do setor industrial durante as fases da Revolução Industrial, respondendo de forma satisfatória às demandas por mais produtos agrícolas nos mercados. Porém, as transformações provocadas no meio rural foram tão drásticas, do ponto de vista das técnicas agrícolas e da própria organização da produção e do setor primário, que, ao final da Revolução Industrial, o que se tinha era um novo modelo produtivo, guiado por uma nova ideologia envolvendo a produção agropecuária. Essas mudanças foram tão intensas

que ficaram marcadas como a primeira Revolução Agrícola, uma vez que esse processo de modernização rompeu, de forma definitiva, com o modelo agrícola anterior.

Com a Primeira Revolução Agrícola, centrada no uso da adubação química, é possível observar que a agricultura se tornou dependente de insumos externos às propriedades, dos adubos químicos e das sementes de plantas selecionadas para maior produção. A agricultura passou a ser vista como um setor produtivo e econômico vinculado à indústria, com a qual passou a ter laços de dependência (Amin e Vergopoulos, 1977). Esse processo levou a uma crescente simplificação e artificialização dos sistemas de produção, com maior dependência da intervenção humana e da inserção de insumos externos.

Críticas ao modelo da Primeira Revolução Agrícola

Apesar de constituir modelo dominante, a Primeira Revolução Agrícola foi alvo de críticas e ensejou a criação de modelos alternativos de produção. Destaca-se o livro “Um Testamento Agrícola”, de Sir Albert Howard, publicado em 1943. Essa obra defende a importância da adubação orgânica e salienta a integração da produção animal à vegetal como estratégia para a aceleração do processo de compostagem dos resíduos vegetais a serem utilizados como adubos para as plantações (Howard, 2012). Porém, não é apenas Howard que apresenta críticas ao modelo dominante. Ehlers (1999) denomina como “Movimentos Rebeldes” as correntes que reprovam esse modelo e que passam a defender formas alternativas de produção agropecuária. Esse autor cita, como exemplos desses movimentos, o surgimento da “Agricultura Biológica”, na Europa, e da “Agricultura Natural”, no Japão, na década de 1930.

De modo geral, esses movimentos “rebeldes” da primeira metade do século XX apoiam suas críticas ao modelo convencional em dois aspectos. O primeiro deles é a simplificação dos cultivos, que leva à necessidade de constante artificialização; o segundo é o não respeito aos ciclos naturais, com a necessidade de inserção de insumos externos às produções. Em síntese, tais movimentos fazem a defesa da diversidade e da produção agrícola em maior harmonia com os ciclos naturais e o meio ambiente.

Em sua análise geral dos impactos do modelo agrícola dependente de insumos externos, notadamente de adubos químicos no final do século XIX e início do século XX, Howard (2012) já chamava a atenção para a dependência da agricultura ao setor industrial. Para o autor, a dependência de insumos externos subordinava o setor agrícola à indústria de insumos. Essa subordinação levaria a uma crise da produção agrícola em

casos de falta de acesso a tais insumos. Nesse sentido, já atentava para o fato de que o modelo convencional não se sustentaria sem o aporte de insumos externos.

Revolução Verde: a última Revolução Agrícola

O modelo da Primeira Revolução Agrícola suportou os fenômenos econômicos e sociais da Revolução Industrial. Porém, a Segunda Guerra Mundial promoveu a desorganização dos modelos produtivos e da economia mundial. O pós-guerra marca um momento histórico de profundo rearranjo e expansão do capitalismo. No contexto da Guerra Fria, que se seguiu ao realinhamento das superpotências mundiais e à busca pelo fortalecimento do bloco capitalista no processo de disputa pela hegemonia geopolítica, aconteceram esforços para a difusão global de padrões ocidentais de sociedade e cultura como parte do processo de globalização econômica. Assim, coube à agricultura papel de destaque nesse processo de difusão cultural para a globalização econômica. Dessa forma, um processo de modernização agrícola, que levasse à uniformização da produção, do consumo de insumos e da padronização de matérias-primas disponíveis para o setor de transformação ou de distribuição, passou a ser alvo das economias capitalistas “desenvolvidas”.

A modernização agrícola requerida não se oporia ao modelo da Primeira Revolução Agrícola; o que se buscava era um aprofundamento do modelo. Essa nova modernização contaria com inovações tecnológicas, mas não se ateria a elas, pois seus objetivos ultrapassavam o campo produtivo. Com a busca pela hegemonia geopolítica e econômica, o bloco capitalista passa a ter, na difusão do modelo agrícola, um de seus sustentáculos. Ao resultado desse processo de modernização deu-se o nome de Revolução Verde; “revolução” porque, apesar de não romper com o modelo anterior, representou um aprofundamento técnico que modificou em muito as técnicas de produção. Porém, seu aspecto de verdadeira reinvenção da produção agrícola não se deveu às suas bases técnicas, mas, sim, à formação de uma nova “Ideologia”¹ envolvendo a produção agropecuária, que alcançou sucesso global.

Avanços tecnológicos da 2ª. Guerra Mundial

O período da Segunda Guerra Mundial foi marcado por importantes avanços na indústria bélica. Nos esforços de guerra, foram financiadas pesquisas científicas cujos

¹ O termo “Ideologia” foi utilizado como proposto por Chauí (1983), como “uma ideia aceita e defendida por toda a sociedade, porém que beneficia somente uma camada dominante da sociedade”. Nesse sentido, a ideologia tem a função de dissimulação da realidade, permitindo a perpetuação de injustiças e explorações, que são validadas, inclusive, pelos grupos que sofrem suas consequências diretas.

resultados foram aplicados nos conflitos. Os parques industriais dos diversos países foram adaptados para fins bélicos. Nesse período, a indústria química se destacou pelo seu grande desenvolvimento (Achilladelis *et al.*, 1990). Uma inovação no período foi as indústrias agregarem às suas dinâmicas a pesquisa científica para o desenvolvimento de novos produtos, o que criou uma nova lógica de produção científica, alinhada às inovações a serem capitalizadas pelo setor industrial. Assim, passa-se a exigir e a valorizar a produção científica “útil”. Essa utilidade se refere ao seu potencial de ser capitalizada pelo setor industrial.

A Segunda Guerra Mundial representou importantes avanços em várias áreas do conhecimento, das comunicações à engenharia química, com destaque para a biologia e a genética. Tal fato fez com que, ao final do conflito, houvesse uma série de novas tecnologias, que, criadas para a guerra, estavam disponíveis aos setores produtivos por meio do setor industrial. É nesse sentido que a Segunda Guerra Mundial deve ser vista como antecedente do processo de modernização agrícola, que passa a ter lugar com a Revolução Verde. Na prática, as tecnologias de guerra foram adaptadas para o uso da agricultura (Altiere, 2002).

Contexto de surgimento da Revolução Verde

Para a compreensão da importância e das questões que a Revolução Verde se propunha a solucionar, é necessário analisar o contexto europeu após o final da Segunda Guerra Mundial. Após o conflito, os países europeus estavam com as economias desorganizadas, a infraestrutura produtiva destruída e a população economicamente ativa reduzida em razão das perdas nos conflitos. Desse modo, o pós-guerra imediato marcou período de crise econômica e de carência de alimentos, que chegou a representar fome para significativa parcela da população.

Com o advento da Guerra Fria, esses países foram alvos dos interesses das duas grandes potências mundiais, Estados Unidos e União Soviética. Em tal processo de disputa ideológica, para que o bloco capitalista se fortalecesse seria necessário destacado crescimento econômico. Nesse período, o crescimento econômico nos moldes capitalistas seria sustentado pelo desenvolvimento do setor industrial e de capital. Porém, a agricultura é o setor econômico capaz de gerar os recursos monetários e fornecer alimentos e matérias-primas a baixo custo para o desenvolvimento do setor urbano-industrial. Adicionalmente, deveria progressivamente liberar mão de obra a ser incorporada à medida que os outros setores da economia se desenvolvessem. Desse modo, no processo de reconstrução dos países europeus, a agricultura se configura como a base

do crescimento econômico e da reconstrução social. A exigência de uma transformação revolucionária no modelo de produção agrícola impulsionou uma construção ideológica da modernização da agricultura e modificou o próprio significado da produção rural, bem como de “seu lugar na sociedade” (Rose *et al.*, 2019).

Assim, a agricultura deveria elevar a produtividade das culturas, da terra e do trabalho. A produção agrícola deveria ser grande o suficiente para abastecer de alimentos a população dos países, gerar excedentes de capital para sustentar a implantação e a expansão do setor industrial, fornecer matérias-primas para o setor industrial e reduzir a necessidade de mão de obra. A transformação revolucionária da agropecuária contou com a adaptação das tecnologias bélicas da Segunda Guerra Mundial para a sua utilização como tecnologias agropecuárias. Dessa forma, os avanços gerados durante a Segunda Grande Guerra foram alinhados ao modelo agrícola dominante, gerado a partir da Primeira Revolução Agrícola.

A Revolução Verde é o resultado das transformações do modelo da Primeira Revolução Agrícola aliadas aos avanços das engenharias química, mecânica e genética. Porém, concomitantemente a essas intervenções de ordem técnica e tecnológica, também há uma transformação da concepção ideológica relacionada à produção agropecuária, que deve se alinhar ao modelo de desenvolvimento econômico e ao crescimento dos outros setores da economia, sustentando o “progresso social” (Gliessman, 2000). Esse processo de modernização foi tão intenso que gerou uma nova ideologia envolvendo a produção agropecuária, a qual se convencionou chamar de “produtivismo” (Dufumier e Couto, 1998).

O MODELO PRODUTIVISTA DE PRODUÇÃO AGRÍCOLA

Forjado no pós-Segunda Guerra Mundial, o produtivismo é uma concepção ideológica que aponta o aumento da produção agropecuária como solução para todo e qualquer problema envolvendo o meio rural. Da economia do país aos impactos ambientais, da redução da pobreza à industrialização das economias, a solução apontada pelo modelo produtivista para todos os problemas é o aumento de produtividade. Porém, nessa visão, este só é alcançado por meio da incorporação de inovações tecnológicas aos sistemas produtivos. No processo de sua difusão em escala global, o produtivismo se transformou em sinônimo de produção agropecuária moderna.

De acordo com Chauí (1983), toda ideologia é uma maneira de dissimulação da realidade. Segundo a autora, quanto maior a capacidade de “esconder” suas contradições, maior será a força de uma ideologia. O produtivismo, ao reduzir todos os problemas

envolvendo a produção agropecuária a aspectos tecnológicos, cuja solução será sempre a inovação, com vistas à elevação da produtividade, dissimula os impactos causados pelo próprio modelo produtivo. Com a difusão do modelo produtivista em escala mundial, essa ideologia é aceita e propagada em diferentes sociedades, transformando-se no modelo agrícola global e, assim, cumprindo o papel de esconder e naturalizar os impactos negativos desse modelo agrícola.

O modelo produtivista se tornou hegemônico em escala mundial ao longo da década de 1970, mantendo-se nessa posição atualmente. Como parte do processo de dominação cultural e econômica, sua força é maior nos países classificados como subdesenvolvidos ou em desenvolvimento. A esses países cabe lugar subordinado na divisão internacional do trabalho, na qual ficam responsáveis pelo fornecimento de *commodities*, o que requer a construção de formações ideológicas para que haja a dissimulação dos impactos negativos dessa perspectiva de produção agrícola e de organização econômica.

Apesar de hegemônico, o produtivismo foi superado ao longo da década de 1980 nos países do capitalismo central, notadamente nos países europeus. Esse processo configura a sua superação como paradigmática, na qual existe sua manutenção em ambientes para os quais não foi criada e a sua superação nos países em que se originou, o que reafirma que o produtivismo e a Revolução Verde não são simples modelos de produção agropecuária e neutros na perspectiva política. Esses configuram formas de imposição cultural de um modelo de sociedade para o benefício do capital internacional, a partir da produção agropecuária (Guzmán e Woodgate, 2013).

Características do produtivismo

O entendimento do modelo agrícola gerado a partir da Revolução Verde depende de uma compreensão clara das características ideológicas do produtivismo, uma vez que estas são determinantes para o direcionamento desse processo de modernização agrícola. A primeira característica a ser mencionada do produtivismo é a busca constante pelo elevado rendimento da terra (Oliveira *et al.*, 2019). O ideal é sempre maiores produção e produtividade em cada atividade. Nesse sentido, a preocupação com uma maior produtividade antecede as preocupações com a renda ou com a própria lucratividade da agropecuária. A busca constante pelo maior rendimento da terra e pela maior produtividade dos fatores de produção são as mais importantes características do produtivismo. Do ponto de vista produtivo, essa característica leva à maior densidade vegetal por unidade de área e ao maior confinamento dos animais.

O aumento da produtividade é uma resposta aos anseios dos mercados transnacionais, uma vez que a elevada oferta de *commodities* permite que estes sejam abastecidos a baixo custo. Tal processo favorece as indústrias de transformação da produção agropecuária. Por outro lado, a busca constante pelo aumento da produtividade leva os produtores ao maior consumo de insumos e serviços, beneficiando os setores da economia à jusante da produção agropecuária (Martine, 1991). Porém, é no campo ideológico que essas características reforçaram o produtivismo, visto que esse modelo traz como valor social a busca pelo aumento da produtividade, em um processo de contínua modernização e ganho de “eficiência”. O produtivismo apresenta a necessidade recorrente de aprofundamento da modernização para ganhos de produtividade e escala de produção. Trata-se, portanto, de um processo de modernização que nunca se completa e que se sustenta na constante inovação tecnológica.

Como característica básica do modelo, a demanda pelo aumento da produtividade se transforma em resposta a todas as questões levantadas. Todos os problemas associados ao produtivismo têm como solução o aumento da produtividade dos sistemas (Oliveira *et al.*, 2019), ou seja, a necessidade constante de aumento de produtividade é uma maneira de dissimular os problemas e as lacunas gerados pelo modelo.

A contínua busca pelo aumento da produção e da produtividade resulta em mais uma característica do produtivismo, a busca pela redução dos custos unitários. Ou seja, a produção em escala cada vez maior reduziria os custos de produção. Nesse caso, os maiores gastos em inovações tecnológicas se revestiriam ideologicamente de redução dos custos de produção, o que, na verdade, é uma forma de dissimulação feita pela ideologia, na qual aumentos de gastos são relacionados sempre à redução dos custos de produção.

Como parte do modelo produtivista, os produtores se tornam especializados. Essa especialização diz respeito à inserção econômica, com atuação somente no setor primário da economia, e também ao cultivo de culturas “solteiras”. Como resultado da especialização, ocorrem a simplificação dos sistemas produtivos das propriedades rurais e a redução da diversidade genética dos agroecossistemas e da inserção da produção nos mercados, com a artificialização da produção e o distanciamento progressivo dos ciclos naturais, redundando em maior dependência da introdução de insumos externos às propriedades.

Assim, outra importante característica do produtivismo é o investimento intensivo em insumos agroindustriais, que leva ao uso maciço de capital. A demanda constante pela elevação da produtividade faz com que o uso de insumos agroquímicos seja cada vez mais

intensivo. Mesmo que se alcance a redução dos custos individuais de produção, o volume global de capital utilizado é crescente, proporcionalmente à busca pelo maior rendimento da terra. Nesse sentido, maior será o investimento em capital quanto mais moderno e “eficiente” for o sistema de produção.

Para que as construções ideológicas do produtivismo sejam consolidadas, suas afirmativas devem ser corroboradas pela ciência, propagadas pelo discurso de técnicos e pesquisadores e utilizadas para a formulação de políticas públicas voltadas ao meio rural. Desse modo, o modelo se utiliza da racionalização científica para se justificar e se defender. Tal situação é facilitada, uma vez que é a própria ideologia produtivista que guia a formação e a atuação dos pesquisadores e técnicos e também das agências de fomento ao desenvolvimento rural. Assim, o produtivismo conta com o apoio dos resultados das pesquisas e das recomendações técnico-científicas, situação que coloca o produtivismo como discurso dominante e autorizado a impor verdades relativas ao meio rural. Desse modo, existe uma espécie de sistema que se retroalimenta, formado pela ideologia produtivista, que fará a defesa desse modelo de produção a qualquer custo econômico, ambiental ou social (Dufumier e Couto, 1998).

A racionalização científica não deve ser analisada somente como resultado da produção de pesquisas guiadas pelo produtivismo. Ela se constrói a partir da desvalorização dos saberes tradicionais, estes que são reconhecidos como sinal de atraso, a ser superado pela modernização proposta pelo produtivismo. Nessa lógica, os saberes tradicionais são desqualificados por não possuírem validação científica, porém estes não são alvos da pesquisa, que se direcionam pelos princípios do produtivismo. Assim, o modelo produtivista não é apenas uma forma moderna de produção, mas uma maneira de desvalorização dos saberes tradicionais locais, em prol da crescente padronização da produção agropecuária. Em seu aspecto ideológico, o produtivismo tem a missão de dissimular essa construção, uma vez que é validada pela neutralidade da ciência. Assim, a partir da aparente neutralidade da ciência, é naturalizada a substituição dos saberes tradicionais por valores mais modernos. Incorporado à ideia do evolucionismo cultural, na qual culturas menos desenvolvidas são substituídas por culturais mais desenvolvidas, o produtivismo cumpre seu papel de agente da invasão cultural (Altiere, 2010). No caso da modernização agrícola a partir da Revolução Verde, a cultura europeia se difunde e se impõe à cultura de outros povos.

Outras importantes características do produtivismo são o descaso com a questão social e a ambiental. Uma vez que o modelo potencializa os impactos sociais e ambientais

negativos da atividade agropecuária, independentemente do contexto em que é implantado, o descaso com estes é uma marca desse modelo produtivo. Do ponto de vista dos valores, o aumento da produção e da produtividade é mais importante que qualquer impacto ambiental ou social gerado. É também notável que o modelo, gerador desses impactos, apresente-se como solução de tais problemas.

Impactos do modelo produtivista

O aumento da produção requerido para a viabilidade do modelo produtivista pode ser alcançado pelo maior investimento em tecnologias e pelo aumento da produtividade, ou pela incorporação de novas áreas ao processo produtivo. Esse modelo, ao contrário de preservar mais áreas, que não precisariam ser “recrutadas” como espaços produtivos, representou o avanço das áreas agricultáveis sobre as áreas de floresta ou subaproveitadas, fato que fez com que, ao final da primeira década do século XXI, houvesse índices de devastação ambiental em escala global alarmantes (FAO, 2011). Esse cenário mostra que a necessidade de modernização para a redução dos impactos da atividade agrícola não passa de dissimulação da realidade de que o aumento da produtividade agrícola não guarda relação com a redução do ritmo de expansão da atividade agropecuária sobre as áreas de vegetação nativa.

Quanto aos impactos ambientais do modelo, deve-se atentar para o fato de que a quimificação provocou a contaminação do solo, do ar, dos alimentos e dos recursos hídricos com agrotóxicos (Balleste e Mantelli, 2020). Da mesma forma, o avanço dos cultivos sobre as áreas de mata contribuiu para a extinção de várias espécies. A desertificação associada ao avanço do modelo produtivista é outro grave impacto ambiental desse modelo produtivo. É inegável, ainda, a contribuição dos agrotóxicos para as alterações climáticas globais e para o processo de aquecimento global (Altiere, 2002).

Nas áreas de cultivo agrícola, o intenso trânsito de máquinas impacta as características físicas do solo. O revolvimento contínuo do solo também é associado ao assoreamento de cursos d’água. A redução dos corpos de água superficiais e profundos e a salinização dos campos de cultivos também são impactos ligados ao processo de irrigação das lavouras.

Desse modo, os impactos ambientais do produtivismo podem ser apontados em várias perspectivas, da contaminação de alimentos com resíduos de agrotóxicos às mudanças climáticas globais, da compactação dos solos cultivados à desertificação, da salinização das áreas de cultivo e de corpos d’água à redução de espécies vegetais e

animais. Assim, são inegáveis os impactos ambientais em escala global desse modelo, bem como as críticas a ele.

Entretanto, por maiores que sejam os impactos ambientais e sociais, não se pode afirmar que o modelo produtivista, resultado da Revolução Verde, fracassou. Isso porque ele viabilizou o aumento da produção agropecuária, que foi a base para o desenvolvimento industrial na perspectiva transnacional, criou condições para o desenvolvimento do capitalismo e subordinou as economias dos países periféricos. Dessa forma, o modelo respondeu às questões que lhe deram origem.

O modelo produtivista alcançou aumento substancial da produção e da produtividade agrícola. Após a sua consecução global, a falta de produtos agrícolas não foi mais um entrave ao desenvolvimento do capitalismo. A partir da década de 1970, a economia mundial pôde contar com a superprodução de produtos agrícolas, o que pressionou os preços dessas *commodities* para baixo. Esse cenário forçou os produtores a produzirem em quantidades cada vez maiores, o que contribuiu para a persistência da superoferta desses produtos no mercado e impôs limites à rentabilidade das produções. Com isso, cumpre-se o objetivo, posto no pós-Segunda Guerra Mundial, de um modelo agrícola que permitisse grande oferta de produtos a baixo custo para o fortalecimento do setor industrial.

Com a superprodução de produtos agrícolas padronizados, a especialização dos produtores e a dependência das indústrias de transformação, o produtivismo fez com que os produtos agrícolas se comportassem no mercado internacional como *commodities* e não mais como alimentos (Jesus e Ommati, 2017). Uma vez que as *commodities* têm seu valor fixado pelo mercado internacional, o superabastecimento leva à relativa estabilidade do preço dos gêneros agrícolas. Desse modo, o valor das *commodities* agropecuárias apenas é alterado de forma significativa em contextos de repentino aumento no consumo de alimentos, o que, em geral, é resultante do crescimento econômico de economias de países em desenvolvimento (Amorim *et al.*, 2019).

O modelo produtivista é altamente dependente de combustíveis fósseis e jazidas de materiais utilizados como corretivos ou adubos nos solos, recursos naturais não renováveis, que têm seus estoques reduzidos à proporção que são consumidos. Com isso, o preço dos insumos agrícolas apresenta aumentos, conforme os estoques vão sendo consumidos, o que faz com que estes tenham seus valores de mercado proporcionalmente majorados à medida que os estoques são consumidos (Dias e Fernandes, 2006). O quadro econômico que se apresenta com a evolução do modelo produtivista foi de relativa

estabilidade de preço das *commodities* agrícolas e de aumento do custo dos insumos, um cenário que reduz os ganhos dos produtores, o que os pressiona para maior produção e produtividade, conseqüentemente maior consumo de insumos. Assim, a solução para essa questão criada pelo produtivismo é o aprofundamento no modelo com o aumento da produção e da produtividade, o que, ao invés de solucionar a questão, amplia ainda mais os impactos negativos.

O aumento da produção agrícola global aumenta a superoferta de produtos agrícolas, com impactos econômicos negativos, em escala global, sobre a renda dos produtores. Porém, esse impacto não é percebido na perspectiva macroeconômica. Uma vez que as análises são construídas a partir da produção global das riquezas, o crescimento dos setores industrial e terciário ligados à agropecuária supera as possíveis perdas do setor primário. É devido a esse fator que o desenvolvimento econômico do “agronegócio” é alvo dessa análise ideológica, não o crescimento econômico do setor primário. Nesse ponto, a ideologia tem a função de dissimular o poder de compra do setor agrícola e a renda dos produtores rurais.

A dependência dos produtores rurais aos setores produtores de insumos e aos compradores de seus produtos faz com que os produtores vivam em uma situação de “sanduíche industrial”, sanduíche que é pressionado pelo setor de distribuição. Nessa configuração, os produtores rurais são tomadores de preços quando da compra dos insumos e também na venda da sua produção. Dessa forma, os produtores não têm a capacidade de ditar, ou até mesmo influenciar, os preços praticados no mercado; os produtores são dominados por este.

Alienado da sua condição de produtor de alimentos, o setor agropecuário perde a “noção ética” relativa à produção destes. Quando não se vê o próprio trabalho ou a própria produção como parte dos alimentos processados pelo setor industrial, perde-se a valorização cultural relativa à produção de alimentos e, conseqüentemente, a preocupação com a inocuidade e a contaminação química dos produtores que serão a base para a elaboração dos alimentos. Nesse sentido, Stoppelli e Magalhães (2005) apontaram elevado percentual de alimentos contaminados por agrotóxicos no Brasil.

Outro ponto de destaque é que maior produção agrícola não significou maior disponibilidade de alimentos. Após a transformação da produção agrícola em alimentos pelo setor secundário da economia, o alimento é disponibilizado pelo setor de distribuição. Esses dois setores da economia definem quanto e qual alimento será ofertado no mercado, de modo que a soberania alimentar não tenha mais relação com a produção

agrícola. Se, por um lado, essa configuração pressiona economicamente os produtores, por outro, impõe novo padrão alimentar aos consumidores. Os setores de transformação e de distribuição passam a definir os tipos de alimentos que chegam às mesas dos consumidores.

Trata-se de corporações transnacionais, que se formam a partir do modelo produtivista, que impõe um padrão alimentar global. A difusão dos pacotes tecnológicos da Revolução Verde foi também acompanhada da difusão de um novo padrão alimentar, com predomínio de alimentos ultraprocessados. O controle global dessas corporações sobre o mercado agroalimentar, desde a produção dos insumos até a distribuição dos alimentos, constitui uma forma de invasão cultural. Desse modo, o produtivismo é relacionado à erosão cultural desde as formas de produção agropecuária até a configuração de mercados globais de alimentos. Tal situação apenas se torna possível porque a agricultura mundial se faz de forma padronizada, em volumes cada vez maiores.

O modelo produtivista permite que o setor industrial faça pagamentos regressivos à medida que o volume comercializado individualmente por produtor é menor, situação que progressivamente culmina na exclusão daqueles produtores que produzem em menores quantidades. Nesse sentido, existe a exclusão dos pequenos produtores, notadamente dos agricultores familiares, dos mercados agrícolas, contexto que favorece a concentração da terra e de renda no meio rural e, por conseguinte, beneficia o surgimento de grandes propriedades rurais e da desigualdade social nesse meio.

A exclusão dos agricultores familiares não se faz somente quanto ao volume, mas também envolve o tipo de produção. Ao se valorizar a produção moderna, desenvolvida, padronizada, automaticamente se desvaloriza a produção típica e artesanal, reconhecida como atrasada, arcaica e caipira. O modelo produtivista, por meio dos discursos técnico-científicos, se presta à condenação dessa produção, contribuindo para a desvalorização dos conhecimentos e das técnicas tradicionalmente desenvolvidas pela agricultura familiar.

Dessa forma, a imposição da padronização provoca a erosão dos saberes camponeses, com destaque para a perda de materiais genéticos e de técnicas locais de produção, perdas que são resultado tanto da ausência de mercados quanto da desvalorização ideológica desses produtos. Quando avaliada de maneira global, a erosão cultural leva à simplificação genética dos agroecossistemas (Altiere, 2010). Essa perda de materiais genéticos pelas comunidades de agricultores favorece o controle do acesso aos materiais genéticos por poucas corporações em escala global. Além disso, o

produtivismo gerou mudanças na dinâmica do trabalho agrícola, com dispensa de grande contingente de mão de obra do setor agrícola. A liberação desse contingente é um especial problema para os países do capitalismo periférico, nos quais o setor industrial não se desenvolveu a ponto de absorver toda essa mão de obra desempregada oriunda da agropecuária.

Deve ser clara, portanto, a percepção de que o modelo produtivista gera exclusões e pressões sobre os produtores rurais, com o aumento da pobreza absoluta e da fome. Os resultados da Revolução Verde e do modelo produtivista que daí se seguiu são contraditórios. Configuram-se no crescimento econômico ao lado do aumento da pobreza e da exclusão, do aumento da oferta de produtos agrícolas que não se materializa na maior oferta de alimentos e do aumento da produtividade agrícola associada à necessidade crescente de avanço sobre áreas de matas.

Contradições do modelo produtivista

As ideologias guardam contradições que lhes são intrínsecas (Chauí, 1983). Quando estas são desnudadas, podem-se perceber as dissimulações a que se prestam, o que permite a apreensão crítica da realidade, o que não é diferente no produtivismo. À medida que o produtivismo se constitui como prática hegemônica, seus impactos negativos foram sentidos em escala global, o que torna ainda mais importante a dissimulação de seus impactos negativos e de sua intencionalidade.

Uma contradição do produtivismo é o fato de a produção agrícola não ser relacionada à produção de alimentos. A perspectiva de que o aumento da produção levaria à extinção da fome no planeta se mostra como mera concepção ideológica. O aumento da produtividade agrícola não guarda relação com o aumento ou a redução da fome, mas, sim, com o crescimento econômico. Também tem relação cada vez mais distante com a soberania e a segurança alimentar das comunidades locais, muito embora seus impactos sejam sempre mais sentidos quando são analisados localmente.

Se o modelo não pode ser relacionado ao combate à fome, ele é responsável por uma espécie de pandemia de obesidade que se alastra no rastro do avanço dos alimentos superprocessados e da globalização dos padrões alimentares (Martorell *et al.*, 2020). Se o produtivismo não foi capaz de superar a carência alimentar de parte da população do planeta, ele ampliou o consumo de calorias daqueles que já tinham em abundância (Santos *et al.*, 2018). O aumento das desigualdades quanto ao acesso de alimentos apresenta efeitos negativos para os dois polos, da carência e da superalimentação.

A mais grave contradição do modelo produtivista é se apontar como solução para os problemas que ele mesmo cria, como se o aumento da produtividade, por meio do aprofundamento do modelo, fosse a solução para todos os problemas gerados pelo produtivismo. As críticas quanto à devastação ambiental são respondidas com o aprofundamento do modelo que aumentaria a produtividade e necessitaria de menos área para a produção agropecuária. Da mesma forma, as críticas quanto aos impactos sociais, ao aumento da pobreza e da exclusão de pequenos produtores têm como solução para o produtivismo a elevação da produtividade, que propiciaria o crescimento econômico (Altieri, 2002; Gliessman, 2000).

Assim, o aprofundamento do modelo, com a utilização cada vez mais intensa de tecnologias agrícolas, é apresentado como uma panaceia para a resolução de todos os problemas do meio rural. É nesse sentido que se pode afirmar que o produtivismo é uma ideologia que apresenta como única e exclusiva solução para todos os problemas do meio rural o aumento da produtividade, alcançado pelo maior investimento em tecnologias e insumos (Oliveira *et al.*, 2019).

O modelo produtivista depende de recursos naturais não renováveis, como os combustíveis fósseis e as jazidas de adubos e corretivos do solo. Se o modelo prega um uso cada vez mais intensivo desses materiais, ele acelera tanto a exaustão desses recursos, provocando aumento dos custos de produção, quanto o fim deles (Maia *et al.*, 2018), o que aniquila o próprio produtivismo e coloca em xeque a sua sustentabilidade.

O consumo de combustíveis fósseis e a devastação de amplas áreas de matas para incorporação agrícola contribuem para as alterações climáticas globais. À medida que o clima global vai sendo alterado, aumenta-se a necessidade de práticas agrícolas como a irrigação, o que eleva os custos e aumenta o consumo de outras fontes de energia pelos sistemas agrícolas. Com isso, a atividade agrícola, que deveria ser uma importante fonte de sequestro de carbono, vai se transformando em fonte de emissão.

Conforme o modelo produtivista ganha espaço, suas contradições se tornam cada vez mais evidentes. Para que seus impactos negativos sejam dissimulados, aumenta-se a necessidade de discursos de defesa e de alinhamento a essa ideologia. Pesquisadores, técnicos e grupos políticos compõem retóricas dominantes de defesa dessa lógica de produção. Nesse sentido, a defesa do agronegócio no Brasil é um bom exemplo. Na tentativa de validar e conformar o produtivismo como prática agrícola hegemônica, são criadas “alternativas”, que nada mais são que formas dissimuladas do modelo produtivista. Porém, essa forma de atuação não consegue suplantar as críticas ao

produtivismo, que são cada vez mais frequentes. As transformações do modelo agrícola que não rompem com o produtivismo também não conseguem responder à exigência de modelos de produção que se alinhem ao ideal da sustentabilidade.

Crise do modelo produtivista

As primeiras críticas ao modelo produtivista, direcionadas à Revolução Verde, aconteceram em escala global já nos anos 1960 (Ehlers, 1999). Nesse contexto, a rejeição ao produtivismo é parte do movimento de contracultura, que marcou as décadas de 1960 e 1970. Essas críticas são pulverizadas pelas áreas de impacto desse modelo agrícola, como a devastação ambiental, pela ameaça à soberania alimentar, pelo controle dos mercados de insumos e de produtos agrícolas por conglomerados econômicos transnacionais, pela padronização cultural e pelo neocolonialismo.

Porém, as críticas ao modelo produtivista só se transformaram em crise do modelo com procura por sistemas alternativos à medida que criaram alternativas para a ampliação do capitalismo, mesmo que localmente. Nos países da Europa Ocidental, já nos anos 1980, o produtivismo é alvo de críticas, as quais levam à crise do modelo; a partir daí, são criados sistemas alternativos de produção, transformação e comercialização da produção agropecuária (Silva *et al.*, 2020). Esse processo fez com que houvesse o desenvolvimento de modelos de produção que romperam ideologicamente com o produtivismo.

Apesar de a conjuntura econômica desses países ser peculiar no contexto da economia internacional, uma vez que exerceram papel na exploração de economias do capitalismo periférico, que adotando o modelo produtivista, configuram-se como fontes de produtos agrícolas. Esse processo de ruptura com o produtivismo deixa claro que é possível o surgimento de outros modelos agrícolas e a própria transformação dos mercados agropecuários. Adicionalmente, a experiência desses países indica que a ruptura com o produtivismo requer, além da transformação técnica dos sistemas de produção, a mudança ideológica e da inserção econômica da produção agropecuária.

Para além dessas transformações globais, é possível perceber continuamente, a partir da década de 1980 e com intensidade crescente nas décadas subsequentes, a exigência de ruptura do modelo produtivista nos mercados locais, com formas de organização dos mercados que superam o produtivismo. Surgem iniciativas de grupos tanto de consumidores quanto de agricultores com modos de organização que são importantes para os mercados alimentares locais, muito embora não tenham força para promover a superação do produtivismo em escala global. Porém, na perspectiva local,

configuram-se na criação de sistemas de produção agrícola com menores impactos ambientais e com impactos sociais positivos.

A análise do produtivismo e de suas formas de superação aponta que um dos entraves é essa concepção ideológica se impor também aos consumidores. O mercado consumidor, tendo como sinônimo de qualidade os alimentos produzidos nessa lógica, não demanda a superação do produtivismo e ainda colabora para seu fortalecimento. Esse fato tem especial importância, uma vez que as transformações no modelo produtivo dependem da mudança de valores dos consumidores, com a superação da padronização como sinônimo de qualidade. Segundo Dufumier e Couto (1998), são necessários cinco requisitos básicos para superar o produtivismo: renda, educação, organização dos consumidores, Estado regulamentador e criação de instâncias públicas para reclamação.

É notável o crescimento da demanda de mercado por produtos típicos, artesanais, de redes de distribuição direta, de mercados solidários, que fazem a ligação dos agricultores aos consumidores, entre outros modelos de mercado agrícola que rompem com o modelo produtivista. Porém, essas formas ainda compõem nichos de mercado compostos por consumidores com elevado poder aquisitivo, que anseiam por alimentos produzidos segundo seus valores éticos, em uma nova lógica de produção e reprodução social no meio rural. A maior organização dos consumidores incentiva a interação de agricultores familiares para a atenção a esses nichos de mercado. Essa situação aponta uma tendência para a transformação dos mercados agroalimentares em escala global, a partir da organização local.

Uma vez que o produtivismo é ancorado em configurações transnacionais dos mercados de produtos agrícolas e de alimentos ultraprocessados, sua alteração afetaria a estrutura do capitalismo em escala global. Desse modo, a transformação do modelo agrícola se dá a partir de iniciativas locais, que, em conjunto, proporcionariam mudanças em escala global, em uma transformação processual, e não abrupta, do modelo agrícola.

A superação do modelo hegemônico, portanto, deve ser feita localmente, com a criação de modelos de produção que rompam com o padrão global de produção agrícola, com a valorização das culturas locais, da produção artesanal e dos mercados locais (Altieri, 2002). A superação do produtivismo é uma mudança tão profunda na lógica de produção agropecuária que redundaria em uma Nova Revolução Agrícola, que, nesse caso, romperia com as duas precedentes, tendo como característica a diversidade de arranjos produtivos, a maior harmonia com as condições ambientais e os ciclos naturais e a busca de organização da produção agropecuária a partir do fortalecimento da

agricultura familiar camponesa, realizada em pequenas propriedades e voltada para os mercados locais (Altiere, 2002; Gliessman, 2000; Guzmán e Montiel, 2009).

MODELOS ALTERNATIVOS AO PRODUTIVISMO

O modelo produtivista parte da simplificação e artificialização dos agroecossistemas. Desse modo, os aumentos de produtividade são alcançados por meio da redução da diversidade genética nos agroecossistemas, sejam eles vegetais ou animais. Já os ciclos naturais são “superados” pelo uso de insumos agroquímicos, de manejos culturais com a utilização de combustíveis fósseis e de outras formas de energia, como a elétrica. A dependência a outras fontes de energia para a viabilização dos modelos de produção reflete a subordinação da produção agrícola a modelos urbano-industriais, com a superação da “dependência” da natureza para que se alcance a produção agropecuária moderna. No que tange à produção animal, essas entradas de insumos externos, na maioria das vezes, contam com a utilização de grãos como base da ração fornecida aos animais, o que ainda concorre com a alimentação humana.

Logo, o modelo produtivista pode ser caracterizado pela dependência aos insumos externos, pela degradação ambiental, pela contaminação de mananciais de água, pela contaminação de alimentos com resíduos de produtos químicos, pela degradação e contaminação de áreas adjacentes aos cultivos, pelo fortalecimento de latifúndios monocultores, pela destruição dos saberes locais, pelo aumento da desigualdade social e do êxodo rural e pela imposição de padrão alimentar global. Do ponto de vista econômico, o produtivismo é criticado por se configurar como um modelo de subordinação do setor primário aos setores secundário e terciário da economia, com redução das margens econômicas alcançadas pelos produtores e pelas populações que se dedicam ao setor agrícola e dele dependem.

Como reação aos impactos gerados pelo produtivismo, formaram-se movimentos sociais que se opuseram a esse modelo hegemônico por seus impactos sociais e ambientais e o denunciaram. Com isso, foram configurados vários modelos de produção agrícola alternativos ao produtivismo. Em uma perspectiva evolucionista, existe a tendência de se julgar que os modelos que se opõem ao produtivismo apenas surgiram após a consolidação deste. Porém, é importante perceber que sempre houve modelos agrícolas que não se alinham aos pacotes tecnológicos da Revolução Verde (Ehlers, 1999). Como esses sistemas de produção são contra-hegemônicos, eles foram inviabilizados.

Nesse mesmo sentido, ao longo do desenvolvimento do modelo produtivista, existiram sistemas de produção que foram excluídos dos processos de modernização da agricultura. Esses modelos de produção camponesa se configuraram como alternativas ao produtivismo (Guzmán e Montiel, 2009). Na atualidade, a agroecologia, em suas diversas vertentes, coloca-se como movimento científico, social e produtivo de oposição ao modelo agrícola hegemônico.

Diante da pluralidade de sistemas e correntes de pensamento que se propõem à superação do produtivismo, é mais importante a análise de como estes se mostram alternativos do que a eleição daquele que seria o melhor, o que provoca cisões que em nada contribuem para a superação do modelo agrícola. Quando se discutem os modelos que se opõem ao produtivismo, é fundamental entender que estes possuem alguns requisitos que, se não estão presentes, o modelo não será uma oposição ao produtivismo. Tais requisitos são a diversidade dos sistemas produtivos, a aplicação de saberes locais, a não utilização de pacotes tecnológicos e da padronização da produção.

Dessa forma, os sistemas alternativos são organizados a partir das características locais, em harmonia com as condições ecológicas e as formações culturais de cada comunidade. Pacotes tecnológicos ou sistemas de produção uniformizados não condizem com a superação do modelo produtivista. Outro aspecto relevante dos modelos que superam o produtivismo se dá quanto à comercialização da produção nos mercados locais de alimentos, a qual amplia a seguridade e a soberania alimentar nos âmbitos local e microrregional. Assim, os modelos alternativos ao produtivismo caracterizam-se como “sistemas agroalimentares”, uma vez que são produzidos alimentos que, por meio dos mercados locais, são disponibilizados aos consumidores (Jesus e Ommati, 2017).

A reduzida dependência de insumos externos às propriedades é possível, pois a reposição de nutrientes do solo e os materiais genéticos utilizados para a produção têm origem na propriedade ou nas comunidades adjacentes. Com isso, é ampliada a diversidade genética da produção agropecuária. A maior diversidade dos sistemas faz com que estes sejam mais resistentes aos desequilíbrios provocados por pragas e doenças. O resultado é a maior diversidade de produtos agroalimentares nos mercados, de processamentos dos alimentos e de formatos alternativos de distribuição.

Trata-se de modelos em maior harmonia com os ciclos naturais e as condições ambientais, porém com produtividade reduzida quando comparados com o modelo produtivista, com ressalva nos casos em que a comparação envolve sistemas produtivistas em ambientes degradados pelos impactos ambientais gerados pelo próprio modelo, muito

embora o produtivismo provocasse a degradação ambiental, o que contribui para a redução na produtividade das culturais e na própria viabilidade dos sistemas (Gliesman, 2000). Dessa forma, em longo prazo, o modelo produtivista contribui para a redução da produtividade agrícola em escala global. Assim, a implantação de sistemas alternativos ao produtivismo permitirá o aumento da produtividade agrícola em decorrência da redução e da reversão dos impactos ambientais.

A superação do produtivismo deve ser planejada de modo processual. Gliesman (2000) denominou esse processo como transição agroecológica. Uma vez que provocará uma transformação global dos mercados agroalimentares, a transição abrupta resulta na carência alimentar, que será mais grave para as populações mais vulnerabilizadas. Nesse sentido, a transformação gradual dos sistemas de produção é uma maneira de organização dos mercados locais e regionais de distribuição de alimentos.

Para Gliesman (2000), a transição agroecológica se dá em três níveis: o primeiro seria o aumento de eficiência das práticas convencionais, com redução do uso de insumos caros ou muito danosos ao ambiente: o segundo consistiria na troca de insumos ou de práticas convencionais por práticas alternativas e por insumos encontrados dentro da propriedade ou comunidade; já o terceiro e último nível de transição agroecológica constituiria o redesenho do agroecossistema para o seu funcionamento sem a dependência de insumos externos, alcançando total sustentabilidade. Para cada nível de conversão, existe a redução da produtividade agrícola. Porém, no primeiro, a redução da produtividade dos sistemas é acompanhada do aumento da produtividade dos insumos investidos. Com esse aumento, as menores produtividades dos sistemas produtivos individuais serão compensadas pela maior produtividade dos insumos investidos.

É justamente nesse primeiro nível de transição que se encontra a maioria dos sistemas integrados: integração lavoura-pecuária, integração lavoura-floresta ou integração lavoura-pecuária-floresta. Para além desses sistemas tradicionais de integração, o terceiro nível da transição agroecológica é um modelo de integração lavoura-pecuária-floresta, porém em um redesenho que não dependeria da introdução de insumos externos aos sistemas de produção.

OS SISTEMAS INTEGRADOS COMO OPOSIÇÃO AO PRODUTIVISMO

Em algumas formas de análise, os sistemas integrados são apontados como sustentáveis, o que os credenciaria a ser apontados como alternativos aos sistemas convencionais de produção agrícola. No entanto, o ideal de sustentabilidade relativa à produção agropecuária apenas é alcançado quando os modelos produtivos se opõem

ideologicamente ao produtivismo. Logo, devem ser levados em consideração aspectos técnicos, mas também questões sociais, culturais, ambientais e econômicas, em oposição às características da ideologia produtivista.

Por sua característica de aumento da diversidade genética pela interação de culturas, os sistemas integrados de produção são considerados uma ruptura com o modelo produtivista convencional, baseado na especialização da produção em regime de monocultura. Porém, essa ruptura possui limites, sendo inversamente proporcional à produtividade almejada. Portanto, quanto maior a preocupação com a produtividade, menor o grau de ruptura; quanto maior a produtividade agrícola almejada, maior é a necessidade de aplicação de insumos nos cultivos; de forma semelhante, quanto maior a população de uma espécie em detrimento das outras, maior a produtividade alcançada.

Nesse sentido, a maioria dos sistemas integrados utilizam como espécie arbórea o eucalipto, as lavouras anuais em cultivos solteiros e a introdução de bovinos de corte. Desse modo, não representam alternativas para a superação do produtivismo, muito embora representem aspectos vantajosos quando comparados com os modelos de monoculturas. O cultivo arbóreo, quando feito a partir de clones, não contribui para a diversidade genética, bem como os cultivos anuais a partir de sementes padronizadas, muitas vezes transgênicas, continuam dependendo de agrotóxicos para sua viabilidade. Esses arranjos continuam dependentes de adubação química. Mesmo com a introdução de espécies animais, que proporcionam maior velocidade na ciclagem de nutrientes, a produtividade requerida pelos sistemas continua deixando-os dependentes da introdução de adubos químicos.

Do ponto de vista social, esses sistemas, em geral, são implementados em regime de grandes propriedades e com comercialização aos setores industriais de transformação da produção agrícola. Desse modo, a maioria dos sistemas de interação lavoura-pecuária ou de lavoura-pecuária-floresta se diferencia de forma tangencial e restrita aos aspectos técnicos dos sistemas convencionais. Rompe-se com algumas características do produtivismo, mas mantêm-se os vínculos ideológicos com o modelo. Nesse caso, as alterações propostas pelos sistemas integrados têm por objetivo contornar alguns impactos ambientais, que prejudicam o próprio modelo de produção. Nesse sentido de compatibilização ao modelo dominante, os esforços de pesquisa objetivam a construção de pacotes tecnológicos para a universalização de sua aplicação. Esse modelo de atuação na perspectiva dos pacotes tecnológicos demonstra o comprometimento da pesquisa com a ideologia produtivista.

Porém, os sistemas integrados compõem os modelos de produção agrícola em oposição ao produtivismo. As agroflorestas e os sistemas agrossilvipastoris se apresentam como soluções para a superação do produtivismo, com o alcance de agroecossistemas mais equilibrados (Gliessman, 2000). Mas, para que esses modelos efetivamente tenham capacidade de transformar a produção agropecuária, é necessária a construção de novos arranjos sociais e econômicos (Altieri, 2002). A presença de árvores, com sistemas radiculares profundos, permite que a ciclagem de nutrientes no solo seja potencializada. Assim, Gliessman (2000) aponta que os sistemas que mais se aproximam da sustentabilidade são aqueles formados pelos hortos domésticos. Cabe destacar que estes apresentam produtividades muito baixas e estão inseridos em comunidades rurais que podem ser classificadas como pré-capitalistas, algumas com elevado grau de pobreza.

Dessa forma, a menor produtividade agrícola dos sistemas, que se opõe ao produtivismo, deve ser compensada pela formação de arranjos de mercados que permitem a melhor remuneração dos produtores, com a possibilidade de beneficiamento da produção e de distribuição direta aos consumidores. Porém, a atuação direta dos produtores nos mercados requer a elaboração de políticas públicas de fortalecimento dos mercados agroalimentares locais.

Quando se refere à superação do produtivismo, não pode ser apontado um único e definitivo modelo. Também não se pode descartar que os sistemas integrados, eucalipto-soja-bovino de corte, por exemplo, representem uma ruptura inicial com o modelo produtivista, porém restrita aos aspectos ambientais e que em nada questiona ou se interpõe ao modelo econômico e social ligado ao produtivismo.

É nesse sentido que se desafia a pesquisa a se libertar dos vínculos produtivistas ligados à Revolução Verde, com forte comprometimento eurocêntrico, para uma atuação criativa e que tenha capacidade de propor desenhos produtivos que se adequem a condições ambientais, sociais, culturais e econômicas diversas. Assim, será preciso superar a introdução de plantas arbóreas exóticas e avaliar espécies nativas em cada bioma, inclusive com a introdução de arbóreas frutíferas, o que, além de respeitar os aspectos ambientais, ainda permitiria a diversificação econômica. Por exemplo, espécies como o araticum (*Annona montana*), a cagaita (*Stenocalyx dysentericus*) ou a inserção de palmeiras como a macaúba (*Acrocomia aculeata*) e a catulé (*Syagrus oleracea*), que apresentam potencial para a integração, são relativamente pouco pesquisadas ou até desconhecidas da pesquisa. Apesar dos anseios sociais, os pesquisadores, bem como as agências especializadas, não se dispõem a romper com o modelo agrícola dominante. O

alinhamento da pesquisa ao produtivismo pode ser demonstrado pelo fato de as espécies alvo da maioria das pesquisas serem o eucalipto, a soja e o milho, gramíneas dos gêneros *Megathyrus* e *Urochloa* (anteriormente denominados de *Panicum* e *Brachiaria*), bovinos da raça Nelore, justamente as bases genéticas que ocupam a maior parte da superfície agrícola no Brasil.

Dessa forma, é possível perceber que a evolução das pesquisas envolvendo os sistemas integrados deve romper com o produtivismo como componente ideológico. Somente a ruptura com o produtivismo permite que se supere a visão de pesquisa conformada aos sistemas tradicionais e se busque a atuação crítica e inovadora requerida para a efetiva transformação da produção agropecuária. Adicionalmente, é necessária a valorização dos saberes camponeses e dos arranjos locais dos agroecossistemas. A pesquisa deve respeitar as características ambientais, sociais, econômicas e culturais das comunidades rurais que apresentam modelos agrícolas que podem ser avaliados como sustentáveis.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os sistemas integrados são opções viáveis para que a produção agropecuária consiga alcançar a sustentabilidade, uma vez que apresentam impactos ambientais positivos se comparados aos modelos convencionais. Apesar desses benefícios, não se podem inscrever indistintamente os sistemas integrados na rubrica dos sistemas agrícolas sustentáveis, uma vez que a integração de diferentes espécies (culturas anuais, gramíneas, bovinos e arbóreas) rompe com as monoculturas, porém não obrigatoriamente com a dependência da utilização de insumos agroquímicos notadamente corretivos de solo, adubos e agrotóxicos (para o combate a pragas e doenças). Também se deve atentar para o fato de as culturas integradas serem aquelas que já predominam quanto à ocupação das áreas agrícolas, às espécies exóticas, oriundas de processos de seleção genética e replicação vegetal que garante a padronização dos cultivos, com restrição da variabilidade genética. Nesse sentido, dos pontos de vista econômico e social, esses sistemas seguem a lógica dominante, alinhando-se ao modelo do agronegócio.

Desse modo, a evolução dos sistemas integrados se faz no sentido da compatibilização desses sistemas ao modelo agrícola da Revolução Verde, não atendendo às expectativas dos grupos sociais que anseiam por modelo de produção agrícola mais “ética” quanto a seus impactos sociais e ambientais. Os desenhos agrícolas que integram plantas arbóreas, culturas semiperenes e anuais e a produção anual são aqueles capazes de alcançar a sustentabilidade na produção agropecuária. Porém, o entendimento da

organização e da configuração desses modelos ainda está longe de ser alcançado. Tal fato aponta para a necessidade de pesquisas que contribuam para a análise e a avaliação dos diversos desenhos agrícolas nesse sentido.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Achilladelis, B.; Schwarzkopf, A.; Cines, M. The dynamics of technological innovation: The case of the chemical industry. *Research Policy*. V.19, 1990, p. 1-34.
- Altiere, M. Agroecologia, agricultura camponesa e soberania alimentar. *NERA*. ano 13, n. 16, 2010, p. 22-32.
- Altiere, M. Agroecologia: bases científicas para uma agricultura sustentável. Guaíba: Oficina de Textos. 2002. 592 p.
- Amin, S.; Vergopoulos, K. A questão agrária e o capitalismo. Trad. RESENDE, B. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1977, 179p.
- Amorim, G. S.; et al. Cadeias globais de valor: a inserção do agronegócio brasileiro. In: Desenvolvimento Regional: Processos, Políticas e Transformações Territoriais Santa Cruz do Sul, 2019.
- Baiard, A. Mudança técnica na Agricultura Medieval e o processo de transição para o capitalismo. *Cadernos de Ciência e Tecnologia*. v. 14, n. 3, p. 449-464, 1997.
- Balbino, L. C., et al. Agricultura sustentável por meio de integração lavoura-pecuária-floresta (iLPF). *Informação Agronômica*, n. 138, p. 1-18, 2012.
- Balleste, V. M.; Mantelli J. Presença de resíduos de agrotóxicos nos alimentos: um enfoque no pimentão e no pepino. *Geografia em Atos*, n. 17, v. 2, p. 44-63, 2020.
- Berman, Marshal. (1989), Tudo que é sólido desmancha no ar. São Paulo, Companhia das Letras.
- Chauí, M. O que é Ideologia. 13ed. São Paulo: Brasiliense. 1983, 125p.
- COSTA, M. P., et al. A socio-eco-efficiency analysis of integrated and non-integrated crop-livestock-forestry systems in the Brazilian Cerrado based on LCA. *Journal of Cleaner Production*. V. 171, p. 1460-1471, 2018.
- Dias, V. P.; Fernandes, E. Fertilizantes: uma visão global sintética. BNDES Setorial, n. 24, p. 97-138, 2006.
- Dufumier, M.; Couto, V. A. Neoprodutivismo. *Cad. CRH*, n. 28, p. 81-111, 1998.
- Epstein, E., Bloom, A. Mineral Nutrition of Plants / Emanuel Epstein e Arnold J. Bloom. – Sunderland: Sinauer Associates, 2004, 403p.
- Ehlers, E. Agricultura Sustentável. 2 ed. Guaíba: Agropecuária, 1999, 157 p.
- FAO. The state of the world's land and water resources for food and agriculture (SOLAW) - Managing systems at risk. London: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2011.
- Furtado, C. O mito do desenvolvimento econômico. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1974, 117p.

- Gliessman, S. R. Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável. Porto Alegre: UFRGS, 2000.
- Guzmán, E. S.; Montiel, M. S. Del desarrollo rural a la agroecología. Hacia un cambio de paradigma. *Documentación Social*. v. 155, p. 25-41, 2009.
- Guzmán, E. S.; Woodgate, G. Agroecología: fundamentos del pensamiento social agrario y teoría sociológica. *Agroecología*. v. 2, p. 27-34, 2013.
- Howard, A. Um testamento agrícola. Trad. JESUS, E. L. São Paulo: Expressão Popular, 2012, 360p.
- Jesus, A. S. S. De; Ommati, J. E. M. Segurança alimentar e Revolução Verde: questionamentos atuais acerca da luta contra a fome no plano internacional. *Revista do Direito Público*, v. 12, n. 3, p. 191-215, 2017.
- Lowy, M. O que é o Ecosocialismo? Ed. 2., São Paulo: Cortez, 2014, 128p.
- Maia, C. R. S.; et al. Complexos agroindustriais e reestruturação produtiva da agropecuária: uma leitura a partir do desenvolvimento da relação do valor. *Revista de Geografia*. v. 35, n. 3, p. 20-44, 2018.
- Martorell, M. et al. Obesidad, desnutrición y cambio climático: una sindemia que Chile deberá enfrentar. *Rev. méd. Chile*. v.148, n.6. p. 881-886. 2020.
- Martine, G. A trajetória da modernização agrícola: a quem beneficia? Lua Nova: *Revista de Cultura e Política*, n. 23, p. 7-37, 1991.
- Moraes A. et al. Research on Integrated Crop-Livestock Systems in Brazil. *Rev. Ciênc. Agron*. v.45 n.5, p. 1024-1031, 2014.
- Oliveira, A. F. et al. Produtivismo, Neoprodutismo e transformações recentes do setor agrário. In. Tópicos de Setor Agrário e Organização Social no Brasil. Belo Horizonte: FEPE, 2019, 120p.
- Prado, E. A disputa pela Doxa no campo ambiental. *Cad. Tec. Vet. Zootec.*, n.45, p. 113-120, 2004.
- Prado JR., C. História Econômica do Brasil. São Paulo: Brasiliense, 1963.
- Rose, D. C. et al. Integrated farm management for sustainable agriculture: Lessons for knowledge exchange and policy. *Land Use Policy*. v. 81, 2019, p. 834-842.
- Santos, T. G.; et al. Tendência e fatores associados à insegurança alimentar no Brasil: Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios 2004, 2009 e 2013. *Cad. Saúde Pública*. v. 34, n. 4, p. 1-17, 2018.
- Silva, A. N.; et al. Iniciativas econômicas solidárias e redes de colaboração na Amazônia Marajoara. *INTERthesis*, v. 17, p. 01-21, 2020.
- Silva, U. G. Modelos de rebelião rural e as revoltas rurais do Império Romano Tardio. *Estudos Históricos*, v. 30, n. 61, p. 311-330, 2017.

Stoppelli, I. M. B. S.; Magalhães, C. P. Saúde e segurança alimentar: a questão dos agrotóxicos. *Ciência e Saúde Coletiva*. v.10, p. 91-100, 2005.

Toledo, M. M. Et Al. Desempenho socioambiental da integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) no Maranhão - Estudo de Caso 1: Fazenda Barbosa – Brejo. São Luís, MA: Embrapa Cocais, 2017.

Williams, R. O campo e a cidade: na história e na literatura. Tradução BRITTO, P. H. São Paulo: Companhia das Letras, 2011, 530p.



1º Edição

FEPE