

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.

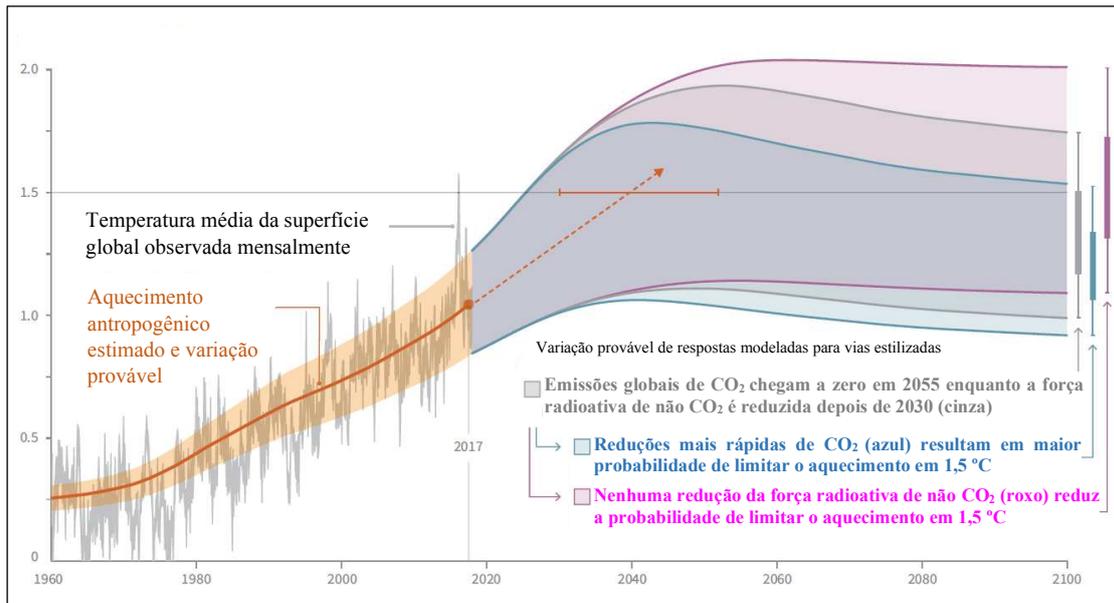
EFEITO ESTUFA E EMISSÕES DE GEE NA AGROPECUÁRIA

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
	0,50	4,0	4,5	5,6	10,1
N ₂ O (Mt N ₂ O/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.agsy.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 Efeito 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 bezerras 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.

