

GUILHERME LANNA REIS

**INFLUÊNCIA DE UM SISTEMA SILVIPASTORIL ESTABELECIDO NO
BIOMA CERRADO SOBRE A CICLAGEM DE NUTRIENTES, ATRIBUTOS
DO SOLO, DA FORRAGEIRA E DO ARMAZENAMENTO DE CARBONO**

Dissertação apresentada à Escola de Veterinária - UFMG,
como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Zootecnia

Área de concentração: Produção Animal
Orientadora: Profa. Ângela Maria Quintão Lana
Co-orientador: Prof. Rogério Martins Maurício

Belo Horizonte
Escola de Veterinária - UFMG
2007

R375i

Reis, Guilherme Lanna, 1978-

Influência de um sistema silvipastoril estabelecido no bioma cerrado sobre a ciclagem de nutrientes, atributos do solo, da forrageira e do armazenamento de carbono / Guilherme Lanna Reis. - 2007.

102p. : il.

Orientadora: Ângela Maria Quintão Lana

Co-orientador: Rogério Martins Maurício

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Veterinária

Inclui bibliografia

1. Plantas forrageiras – Valor nutritivo – Teses. 2. Solo – Nutrientes – Teses.
3. Cerrado – Vegetação nativa – Teses. 4. Capim braquiaria – Teses. I. Lana, Ângela Maria Quintão. II. Maurício, Rogério Martins. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Veterinária. IV. Título.

CDD – 633.2

DEDICO...

Aos meus pais, Rubens e Auxiliadora, pelo afeto, pelo exemplo e pela oportunidade de viver, em seu sentido mais amplo. À minha irmã, Larissa, pelo carinho e colaboração em todos os momentos. À Flávia, minha maior motivação, pelo amor e companheirismo nas lutas e nos planos.

AGRADEÇO...

A Deus, pela harmonia e perfeição observadas na natureza, da qual podemos extrair lições de vida.

À toda minha família, pelo afeto.

À Professora Ângela Maria Quintão Lana, pelo apoio e dedicação incansáveis, algumas vezes até tarde da noite ou sem almoço. Obrigado por ter aceitado orientar aquele aluno de final de graduação que tinha o sonho de fazer um projeto fora do convencional e que realmente contribuiu para a melhoria da realidade atual.

Ao Professor Rogério Martins Maurício, que formou uma excelente dupla com Professora Ângela na minha orientação. Obrigado pelo projeto, cuja idéia surgiu durante uma conversa despreziosa num almoço na cantina da escola. Obrigado por abrir as portas do CATIE e da Fazenda Grota Funda. Obrigado pelo KISS – *keep it simple stupid*.

Ao Professor Rodrigo Matta Machado, pelos conhecimentos em sustentabilidade, desde o primeiro período, que ajudaram a fortalecer minhas convicções. Obrigado também pela paciente e constante orientação durante toda elaboração e execução do projeto.

Ao Professor Iran Borges, polivalente, por toda ajuda e pelos conhecimentos dentro e fora da sala.

À Professora Regina Maria Quintão Lana, pela dedicação e auxílio, no sentido mais amplo.

Vocês foram muito mais que uma banca, mas um comitê de orientação multidisciplinar durante todo o período. Obrigado por terem feito parte deste projeto, que não seria o mesmo se não fosse a contribuição de cada um.

Ao Professor Ivan Barbosa Machado Sampaio, professor emérito da Escola de Veterinária – UFMG, por toda sabedoria e apoio.

Ao Professor Demetrius David da Silva, por toda ajuda em relação às análises de solo.

Ao Professor Marcelo Resende de Souza, uma das pessoas mais prestativas e queridas que já conheci.

Ao Professor Fernando Enrique Madalena, por ter sido meu primeiro orientador na iniciação científica. Obrigado pela paciência dedicada, em função da distância entre os níveis de conhecimento de um aluno do início do terceiro período e um pesquisador mundialmente reconhecido.

A todos demais professores da Escola de Veterinária – UFMG e demais profissionais que participaram na minha formação pessoal e profissional.

Aos Professores do Departamento de Solos da UFU - Gilberto Fernandes Corrêa e Elias Nascentes Borges – pela boa vontade e sugestões valiosas.

Aos pesquisadores do CATIE, que muito contribuíram com este estudo - Dr. Muhammad Ibrahim, Mario Chacón, Clisério González, Dr. José Gobbi, Francisco Casasola, Jairo Mora, Vilma Holguín, Hernán Andrade, Cristóbal Villanueva e Jairo Rojas.

Ao Talmir Quinzeiro Neto, meu “irmão acadêmico”, por toda ajuda e ideais compartilhados.

Ao Luciano Fernandes de Sousa e Guilherme Rocha Moreira, que também foram essenciais na execução do projeto.

Ao Egleu Marinho, que sempre foi prestativo.

À Dra. Iolanda Viana, exemplo de vida, e ao Dr. Virgílio Viana por terem permitido a realização do projeto em sua propriedade, Fazenda Grota Funda.

Ao “Seu Luiz”, encarregado da Fazenda Grota Funda, por toda cooperação, pureza e sabedoria peculiar.

Aos colegas da turma Carneiro Viana, especialmente aos que foram companheiros do mestrado - Valente, Kiko, Toddy, Baiano, Celo, Haddad, Baity, Bruna, Pedro, Menici, Amanda, Andréia, Flávio, Clara, Dani, Felipe, Naninha, Regina, Nayara, Raquel e Vinícius. E aos novos amigos do mestrado, Michelle, Tião, Joan, Tim, Sílvia, Janaína, Paulas, Salete, Cheyne, Ju, Fernando Maranhão, Patrícia, Hélio, Ângela...

Aos funcionários do Laboratório de Nutrição da Escola de Veterinária, Toninho, Kelly, Carlos, Marcos, Mateus e Margot. À Marcela, do Laboratório de Nutrição da PUC-Betim. Aos funcionários dos Laboratórios de Solos da UFU e UFV. A ajuda de vocês foi imprescindível nos momentos de aperto.

À Nilda, do colegiado de pós-graduação, pelo sorriso e alegria com que resolve nossas pendências burocráticas.

Ao Marcos da secretaria de zootecnia, que sempre me ajudou no que precisei.

Ao Fabiano Santos Junqueira, por toda ajuda e aprendizado durante a graduação.

À Andréa Amaral Alves, minha “irmã acadêmica”, pelos conselhos. Se não fosse você, dificilmente teria conhecido nossa “mãe”.

A todos os amigos da Fundação Logosófica, pelos conhecimentos.

Ao GES, pela amizade de mais de 20 anos.

À Ice, minha gordinha. Agora o “mofilinho” é “pós-graduado”.

À Dona Luzia, Zé, Robinho, Dani e demais amigos de Ouro Branco, pela paz e carinho.

À Walkíria, Ana Lúcia, Rosilene e demais funcionários da biblioteca, pela boa vontade.

Aos funcionários do xérox, Cleiton, Wagner e Hélio, pela boa vontade de sempre.

Ao final do mestrado, enquanto aguardava o Wagner do xérox, fazer uma cópia para mim, comecei a refletir: como foram corridos estes dois anos. As palavras que dirigi a esta pessoa, durante todo este tempo, foram basicamente as mesmas: um cumprimento breve e ia direto ao assunto. Isto não aconteceu somente em relação a ele, mas com a maioria das pessoas com que convivi, principalmente no meio profissional. Foram dois anos da vida de vários seres humanos, com família, amigos, sentimentos e pensamentos. Compreendo, no momento, que esta convivência não exista por acaso. Tudo tem uma razão de ser. Estivemos juntos para aprender uns com os outros, por meio de erros e acertos, próprios e alheios. Obrigado a todos, mesmos os não citados nominalmente, que fizeram parte da minha vida.

EPÍGRAFE

Durante a elaboração deste trabalho, principalmente nos momentos mais difíceis, pensava no seguinte: *“O esforço é vida; é um constante provar a capacidade de produzir, de fazer, de realizar.”* A cada dia, consegui obter pequenos triunfos, para os quais duas virtudes foram essenciais: a paciência e a perseverança. *“A paciência é uma virtude admirável; uma virtude que sempre nos presenteia com a ventura de não tê-la exercitado em vão. Quanto à perseverança, não há dúvida de que é outro fator de suma importância para levarmos adiante nossos planos. A perseverança é como um grande filtro depurador de nossos esforços, que nos permite aproveitar os verdadeiros valores de nossa vontade, e, com isso, adquire solidez o pensamento encarregado de realizar os propósitos que concebemos nas horas de inspiração.”*

Este trabalho foi realizado com o objetivo de propor soluções para alguns problemas advindos dos erros humanos em relação aos sistemas de produção de alimentos danosos ao meio ambiente. *“... existe uma medida entre a ignorância humana e a paciência de Deus e, assim, quando a ignorância já não existir, possivelmente não haverá tampouco mais paciência em Deus, porque não será necessária. O caso seria saber qual das duas terminará primeiro: se a ignorância do homem ou a paciência de Deus.”* Espero que a ignorância do homem diminua rapidamente, pois *“conseguir que as gerações futuras sejam mais felizes que a nossa, será o prêmio mais grandioso a que se possa aspirar.”*

Os trechos em itálico são de autoria de Carlos Bernardo González Pecotche – criador da Logosofia

SUMÁRIO

1.	RESUMO GERAL	12
	ABSTRACT	13
2.	CAPÍTULO 1 – REVISÃO DE LITERATURA: O papel dos sistemas silvipastoris no contexto do século XXI	14
2.1	INTRODUÇÃO	14
2.2	Contexto global	15
2.2.1	Crescimento da população e a demanda por alimentos e recursos	15
2.2.2	Impactos ambientais	16
2.2.2.1	Desmatamento	16
2.2.2.2	Mudanças climáticas	17
2.2.2.3	Degradação dos solos	18
2.2.2.4	Impactos nos recursos hídricos e na biodiversidade	18
2.3	Sistemas de produção de alimentos	20
2.3.1	Sistemas de produção fundamentados nos princípios da revolução verde	20
2.3.2	Em busca da sustentabilidade	21
2.3.3	Sistemas agroflorestais	23
2.3.3.1	Aspectos produtivos dos sistemas silvipastoris	23
2.3.3.2	Serviços ambientais prestados pelos sistemas silvipastoris	25
2.3.3.2.1	Influência nos recursos hídricos	25
2.3.3.2.2	Influência na biodiversidade	26
2.3.3.2.3	Influência no armazenamento de carbono	26
2.3.3.3	Aspectos econômicos e limitações dos SSP	27
2.4	Pagamentos por serviços ambientais e políticas públicas	28
2.4.1	Indicadores dos serviços ambientais	30
2.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	30
2.6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31
3	CAPÍTULO 2 - Influência de um sistema silvipastoril, estabelecido no bioma Cerrado, nos atributos físicos do solo	35
	RESUMO	35
	ABSTRACT	36
3.1	INTRODUÇÃO	36
3.2	MATERIAL E MÉTODOS	37
3.2.1	Caracterização e localização dos sistemas	37
3.2.2	Coleta dos dados	38
3.2.3	Análises laboratoriais	39
3.2.4	Análises estatísticas	39
3.3	RESULTADOS	39
3.4	DISCUSSÃO	42
3.5	CONCLUSÕES	46
3.6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46

4	CAPÍTULO 3 – Influência de um sistema silvipastoril, estabelecido no bioma Cerrado, nos atributos químicos do solo	49
	RESUMO.....	49
	ABSTRACT.....	49
4.1	INTRODUÇÃO.....	50
4.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	51
4.2.1	Caracterização e localização dos sistemas	51
4.2.2	Coleta dos dados	52
4.2.3	Análises laboratoriais	52
4.2.4	Análises estatísticas	52
4.3	RESULTADOS	53
4.4	DISCUSSÃO	59
4.5	CONCLUSÕES.....	65
4.6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65
5	CAPÍTULO 4 – Influência de um sistema silvipastoril, estabelecido no bioma Cerrado, na produtividade e valor nutritivo da forrageira	69
	RESUMO.....	69
	ABSTRACT.....	69
5.1	INTRODUÇÃO.....	70
5.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	72
5.2.1	Caracterização e localização dos sistemas	72
5.2.2	Coleta dos dados	72
5.2.3	Análises laboratoriais	73
5.2.4	Análises estatísticas	74
5.3	RESULTADOS	74
5.4	DISCUSSÃO	78
5.5	CONCLUSÕES.....	84
5.6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	85
6	CAPÍTULO 5 – Influência de um sistema silvipastoril, estabelecido no bioma Cerrado, sobre o armazenamento de carbono.....	88
	RESUMO.....	88
	ABSTRACT.....	88
6.1	INTRODUÇÃO.....	89
6.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	90
6.2.1	Caracterização e localização dos sistemas	90
6.2.2	Coleta dos dados	91
6.2.3	Análises laboratoriais	91
6.2.4	Análises estatísticas	92
6.3	RESULTADOS	92
6.4	DISCUSSÃO	96
6.5	CONCLUSÕES.....	99
6.6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	100
7	CONCLUSÕES GERAIS	102

LISTA DE TABELAS

Capítulo 2	Influência de um sistema silvipastoril, estabelecido no bioma Cerrado, nos atributos físicos do solo	35
Tabela 1	Atributos químicos, em solo sob sistema silvipastoril (SSP) e monocultura (Lagoa Santa-2006)	40
Tabela 2	Contribuição anual da arbórea Ipê Felpudo (<i>Zeyheria tuberculosa</i> Vell. Bur.) para o solo, em macronutrientes e matéria orgânica, em um sistema silvipastoril no bioma Cerrado (Lagoa Santa/MG – 2005)	40
Tabela 3	Médias e coeficientes de variação (CV) de matéria orgânica e densidade aparente, densidade de partículas, porosidade, microporosidade e macroporosidade, em função de profundidade, em solo sob sistema silvipastoril (SSP) e monocultura (Lagoa Santa-2006)	41
Tabela 4	Médias de teores de matéria orgânica e densidade aparente, densidade de partículas, porosidade, microporosidade e macroporosidade, em função de profundidade, em solo sob sistema silvipastoril (SSP) e monocultura (mono) (Lagoa Santa-2006)	41
Tabela 5	Correlações de Pearson entre atributos químicos e físicos (Lagoa Santa/MG – 2006)	42
Capítulo 3	Influência de um sistema silvipastoril, estabelecido no bioma Cerrado, nos atributos químicos do solo	49
Tabela 1	Composição média dos tecidos vegetais de acordo com a estação do ano em um sistema silvipastoril no bioma Cerrado (Lagoa Santa/MG – 2005)	54
Tabela 2	Contribuição anual da arbórea Ipê Felpudo (<i>Zeyheria tuberculosa</i> Vell. Bur.) para o solo, em macronutrientes e matéria orgânica em um sistema silvipastoril no bioma Cerrado (Lagoa Santa/MG – 2005)	55
Tabela 3	Teores médios de matéria orgânica (MO), potássio (K), fósforo (P), enxofre ($S-SO_4^{-2}$), cálcio (Ca^{+2}), magnésio (Mg^{+2}), em função de profundidade, em solo sob sistema silvipastoril (SSP) e monocultura (mono) (Lagoa Santa-2006)	56
Tabela 4	Valores médios de atributos de solo, em função de profundidade, sob sistema silvipastoril (SSP) e monocultura (mono) (Lagoa Santa - 2006)	57
Tabela 5	Teores médios de saturação por bases (V), saturação por alumínio (m) e relações de bases Ca / Mg, Ca / K, Mg / K e Ca + Mg / K, em função de profundidade, em solo sob sistema silvipastoril (SSP) e monocultura (mono) (Lagoa Santa - 2006) ...	57
Tabela 6	Percentuais médios de Ca / T, Mg / T, K / T, H + Al / T, Ca + Mg / T e Ca + Mg + K / T, em função de profundidade, em solo sob sistema silvipastoril (SSP) e monocultura (mono) (Lagoa Santa - 2006)	58
Tabela 7	Teores médios de boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn), em função de profundidade, em solo sob sistema silvipastoril (SSP) e monocultura (mono) (Lagoa Santa - 2006)	58
Tabela 8	Tabela 8 – Valores médios de P, K, Ca / Mg, Ca / K e T, em função de profundidade, sob solos de ambos sistemas de cultivo (Lagoa Santa - 2006)	59

Capítulo 4	Influência de um sistema silvipastoril, estabelecido no bioma Cerrado, na produtividade e valor nutritivo da forrageira	69
Tabela 1	Atributos químicos de solo sob sistema silvipastoril (SSP) e monocultura de <i>B. brizantha</i> cv. Marandu (mono) (Lagoa Santa/MG – 2006)	75
Tabela 2	Contribuição anual da arbórea Ipê Felpudo (<i>Zeyheria tuberculosa</i> Vell. Bur.) para o solo, em macronutrientes e matéria orgânica em um sistema silvipastoril no bioma Cerrado (Lagoa Santa/MG – 2005)	75
Tabela 3	Atributos produtivos e análise bromatológica de <i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu (BBM) em sistema silvipastoril (SSP) e fora da influência delas (monocultura) (Lagoa Santa/MG – 2006)	76
Tabela 4	Correlações de Pearson entre atributos químicos do solo e da forragem (Lagoa Santa/MG – 2006)	77
Tabela 5	Parâmetros de regressão de da <i>B. brizantha</i> cv. Marandu (BBM), em função das variáveis de solo, em monocultura desta gramínea ou em consórcio com a arbórea <i>Zeyheria tuberculosa</i> Vell. Bur (SSP) (Lagoa Santa/MG – 2006)	78
Capítulo 5	Influência de um sistema silvipastoril, estabelecido no bioma Cerrado, sobre o armazenamento de carbono	88
Tabela 1	Atributos químicos de solos de sistema silvipastoril (SSP) e monocultura (mono) no bioma Cerrado (Lagoa Santa – 2006)	93
Tabela 2	Contribuição anual da arbórea Ipê Felpudo (<i>Zeyheria tuberculosa</i> Vell. Bur.) para o solo, em macronutrientes e matéria orgânica em um sistema silvipastoril no bioma Cerrado (Lagoa Santa/MG – 2005)	93
Tabela 3	Composição média de carbono dos tecidos vegetais de acordo com a estação do ano (Lagoa Santa – 2006)	94
Tabela 4	Valores médios de densidade, percentual de carbono (C) e total de C por camada ha ⁻¹ e total de C ha ⁻¹ , em função de profundidade e tratamento, em solo sob sistema silvipastoril (SSP) e monocultura (mono) (Lagoa Santa/MG-2006)	94
Tabela 5	Valores médios do peso total, quantidade de carbono e percentual de matéria seca nos troncos, nos galhos e nas folhas da arbórea Ipê Felpudo (<i>Zeyheria tuberculosa</i> Vell. Bur.) (Lagoa Santa/MG-2006)	95
Tabela 6	Quantidades médias de carbono em vários compartimentos de um sistema silvipastoril (SSP) e de pastagem de <i>B. brizantha</i> cv. Marandu (mono) em função de profundidade e tratamento, no bioma Cerrado (Lagoa Santa/MG – 2006)	95
Tabela 7	Correlações de Pearson percentual de carbono e demais atributos químicos de solo (Lagoa Santa/MG – 2006)	96
Tabela 8	Parâmetros de regressão dos teores de C em função das variáveis de solo sob monocultura (Mono) e sistema silvipastoril (Lagoa Santa/MG – 2006)	96

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 3	Influência de um sistema silvipastoril, estabelecido no bioma Cerrado, nos atributos químicos do solo	49
Figura 1	Perfil de contribuição do Ipê Felpudo em material senescente para o solo (Lagoa Santa/MG – 2005)	53
Figura 2	Contribuição mensal de cálcio (Ca), fósforo (P), nitrogênio (N) e potássio (K) (Lagoa Santa/MG – 2005)	55
Capítulo 4	Influência de um sistema silvipastoril, estabelecido no bioma Cerrado, na produtividade e valor nutritivo da forrageira.....	68
Figura 1	Perfil da distribuição da pluviosidade antes, após e durante o período avaliado de crescimento da forrageira, na região de Lagoa Santa/MG	72

Influência de um sistema silvipastoril estabelecido no bioma cerrado sobre a ciclagem de nutrientes, atributos do solo, da forrageira e do armazenamento de carbono

RESUMO GERAL

Autor: Guilherme Lanna Reis

Orientador: Ângela Maria Quintão Lana

Co-orientador: Rogério Martins Maurício

Políticas e tecnologias inadequadas contribuem consideravelmente para a insustentabilidade econômica, social e ambiental da produção agropecuária brasileira. O objetivo deste estudo foi avaliar o papel dos sistemas silvipastoris (SSP) na busca de pontos positivos que contribuam na sustentabilidade da pecuária brasileira. Analisou-se a influência de um SSP, estabelecido no bioma cerrado, por meio de regeneração natural da espécie arbórea nativa Ipê Felpudo (*Zeyheria tuberculosa* Vell. Bur), e *Brachiaria brizantha* cv. Marandu (BBM), na ciclagem dos nutrientes, nos atributos químicos e físicos do solo, na produtividade e no valor nutritivo da forrageira e no armazenamento de carbono. A espécie arbórea do sistema estudado, nesta densidade, influenciou a fertilidade do solo principalmente em relação à acidez, com o aumento do pH, cálcio (Ca^{+2}), magnésio (Mg^{+2}) e saturação por bases (V), e redução de alumínio trocável (Al^{+3}), na camada superficial (0-2 cm). Em relação aos teores dos outros macronutrientes no solo, não houve influência das árvores provavelmente devido às altas relações carbono/nitrogênio (C/N) e lignina/N na liteira das árvores. Os atributos físicos foram ligeiramente afetados e ambos os sistemas foram eficientes na manutenção da estrutura física do solo. A presença do Ipê Felpudo em pastagens de BBM não reduziu a produção de matéria seca (MS) da BBM durante um período típico de veranico. Por outro lado, as árvores influenciaram a composição mineral da forrageira. Não houve alteração dos componentes fibrosos, entretanto, as arbóreas contribuíram para melhorar os aspectos nutricionais da forragem ao incrementar os níveis de proteína bruta. O SSP demonstrou o potencial de armazenar maior quantidade de carbono em relação ao controle (pasto sem árvores).

Palavras-chaves: degradação, desmatamento, pastagens, produtividade animal, impactos ambientais, sustentabilidade

Influence of a silvopastoral system located at Brazilian savanna on nutrient cycling, soil and forage attributes and carbon sinking

ABSTRACT

Author: Guilherme Lanna Reis

Advisor: Ângela Maria Quintão Lana

Co-advisor: Rogério Martins Maurício

Inadequate politics and technologies have contributed to the economic, social and environmental unsustainability of the agriculture and livestock production in Brazil. The aim of this study was to evaluate one silvopastoral systems (SPS) and also the positive effects which could be used for a sustainable animal production. The influence of a SPS on nutrient cycling, physical and chemical soil attributes, forage production and carbon sink was evaluated. The SPS was established in the Cerrado biome, through natural regeneration of the tree (*Zeyheria tuberculosa* Vell. Bur) and the grass forage (*Brachiaria brizantha* cv. Marandu) (BBM). The tree specie, at this density, increased the values of pH, calcium (Ca^{+2}), magnesium (Mg^{+2}) and bases saturation (V) reduced aluminum (Al^{+3}) at 0-2 cm soil layer. The macronutrients concentration was not affected and could be influenced by the high relationship between carbon/nitrogen (C/N) and lignin/N on the trees litter. The physical attributes were slight influenced and both systems and were efficient at keeping the soil structure. The dry matter production of BBM were not affected by the presence of trees, during typical period of hydric stress. On the other hand, the mineral composition was influenced by the presence of trees. However, the crude protein concentration on BBM increased on the SSP. The SPS demonstrated the potential to increase carbon reservoir in relation to pastures cultivated as monoculture.

Key words: degradation, deforestation, pastures, animal productivity, environmental impacts, sustainability

CAPÍTULO I – REVISÃO GERAL DE LITERATURA

O papel dos sistemas silvipastoris no contexto do século XXI Silvopastoral systems role in the XXI century context

1. INTRODUÇÃO

No século XXI, duas preocupações globais, tanto da comunidade científica quanto da sociedade em geral, têm predominado: as conseqüências do aumento de consumo de alimentos e combustíveis e como a produção de alimentos vai ser afetada pelas mudanças climáticas (Gregory e Ingram, 2000). Todavia, a preocupação com a sustentabilidade agrícola tem origem há pelo menos dois milênios. Varro, um dono de terras romano, no século I a.C., compreendia que: “A agricultura é uma ciência que nos ensina qual lavoura plantar, em qual tipo de solo e quais operações devem ser realizadas para que a terra produza ao máximo e de forma perene”. Um século após, Columella atribuiu a infertilidade do solo ao fato das “árvores, ao serem cortadas pelo machado, param de nutrir sua mãe com a folhagem” (Izac e Sanchez, 2001).

Tanto os produtos agrícolas quanto os serviços ambientais são essenciais para existência humana com qualidade de vida. Todavia, as práticas atuais tem inadvertidamente causado impactos ambientais e conseqüentemente nos serviços prestados pela natureza, evidenciando a necessidade de tecnologias agrícolas mais sustentáveis (Tilman et al., 2002). A pecuária é um dos principais agentes causadores de degradação ambiental. Em relação ao montante de dinheiro movimentado, este setor não está entre as principais atividades econômicas globais, entretanto responde por 40% do PIB do agronegócio, emprega 1,3 bilhões de pessoas, é o meio de vida de um bilhão de pessoas pobres e provê um terço da quantidade total de proteína ingerida pela humanidade. Entretanto, há necessidade de

reduzir para a metade do total de impacto gerado por unidade de leite ou carne produzidos (Steinfeld et al., 2006). Em áreas com maior concentração animal, há acúmulo de nutrientes no solo, erosão do solo e emissão de gases do efeito estufa. Ao passo, que as pastagens mais extensivas estão associadas ao desmatamento, compactação do solo e desertificação (Nicholson et al., 2001).

A degradação da terra pode ser revertida por meio de métodos de conservação do solo, manejo adequado dos pastos, limitação das queimadas nos pastos, minimizar a exclusão social em áreas sensíveis e estabelecimento de sistemas silvipastoris (SSP) (Steinfeld et al., 2006), ou sistemas agroflorestais (SAF) pecuários, que consistem em uma combinação de árvores, culturas e animais numa tentativa de imitação dos ecossistemas naturais. A manutenção de árvores, tanto no campo agrícola, como no pastoril, constitui uma contribuição para a manutenção da fertilidade natural pelo aporte contínuo de matéria orgânica e controle da erosão (Vilela, 2001). Assim, ao se evitar a degradação das pastagens não haverá necessidade contínua de novos desmatamentos para a formação de novos pastos a fim de alimentar o rebanho.

A postura de muitos cientistas, que investigam e fazem previsões catastróficas sobre questões polêmicas tais como mudanças climáticas, impactos ambientais e crescimento populacional, pode ser questionada se o objetivo motivador deste tipo de atitude for o próprio benefício como, por exemplo, alocar maior quantidade de recursos para pesquisa (Paris e Paris, 1996). De forma lamentável, comumente a problematização, marcada pelo devaneio e

pelo ceticismo, deixa em segundo plano a busca concreta por soluções viáveis para estes problemas e distancia os agentes promotores de mudanças. Assim, o objetivo deste estudo é avaliar o papel dos sistemas silvipastoris na busca da sustentabilidade econômica, ambiental e social, no século XXI.

2. CONTEXTO GLOBAL

2.1. *Crescimento da população e a demanda por alimentos e recursos*

A população mundial de seis bilhões de pessoas cresce em média 1,3%, ou 73 milhões de pessoas por ano, atingindo 7,5 bilhões em 2020 e 9,4 bilhões em 2050 (Lal, 2001). Estima-se que, até 2020, 98% deste crescimento ocorrerá nos países em desenvolvimento, principalmente em áreas urbanas (Sanchez, 2000) e a demanda por alimento deve dobrar em meados do século XXI (Tilman et al., 2002). O PIB per capita global aumentará em média 2,6% ao ano entre 1998 e 2030, o que refletirá no incremento do consumo diário de alimentos de 2803 para 3050 kcal dia⁻¹ per capita (acima do mínimo de 1700 a 2000 kcal considerado para evitar subnutrição) e de carne de 36 para 45 kg ano⁻¹ per capita, neste mesmo período. A população substituirá parte da ingestão de raízes e tubérculos por carne. Há previsões de que até 2030, a produção de alimento atenderá à demanda, todavia, haverá uma expansão da área agrícola em 8% essencialmente sobre florestas tropicais nos países em desenvolvimento (Eickhout et al., 2006). Não obstante, o aumento da demanda por alimento é uma oportunidade de aliviar a pobreza, pois os pequenos produtores nos países em desenvolvimento são responsáveis por mais de 50% da produção global de carne e leite (Nicholson et al., 2001).

A dieta dos animais domésticos inclui ingredientes impróprios para consumo humano, que representam em torno de 33 a 50% da ração de suínos, aves e bovinos de

corde em confinamento. Logo, há conversão destes subprodutos em alimentos ricos em micronutrientes, energia e proteínas. O valor biológico deste último nutriente chega a ser 1,4 vezes maior nos produtos de origem animal em relação aos vegetais. A conversão de produtos adequados para consumo humano em uma unidade de carne seria de 0,3 para bovinos, ovinos e caprinos, 1,6 para frango e 1,8 para suíno. Assim, os ruminantes apresentam maior retorno por unidade de alimento que também pode ser consumido por humano (Nicholson et al., 2001).

Sob o ponto de vista ecológico, as terras agricultáveis são aquelas com maior capacidade de produção de biomassa vegetal. No planeta em torno de 1,35 bilhões de hectares dos solos mais férteis já estão sendo cultivados, dos quais 10 milhões de hectares são abandonados anualmente devido à degradação. Atualmente, há menos de 0,25 hectare de terra produtiva por pessoa no mundo. As áreas com pastagens são bem menos produtivas que as terras aráveis e a disponibilidade delas é de 0,6 hectare pessoa⁻¹. As áreas ocupadas com florestas, áreas construídas, espaço marinho com produção significativa são respectivamente 0,9; 0,06; 0,5 hectares pessoa⁻¹. Assim, cada cidadão mundial dispõe de 2,3 hectares de espaço biológico produtivo para sua sobrevivência. Entretanto, este espaço deve ser dividido com 30 milhões de espécies, cuja sobrevivência demanda pelo menos 12% desta área, restando dois hectares por humano. O desafio seria manter o tamanho da pegada ecológica, ou seja, demanda de um indivíduo, de uma cidade ou de uma nação por produtos e serviços providos pela natureza. A demanda mundial e o déficit, em 1997, por pessoa, eram de 2,8 e 0,8 hectares, respectivamente. Este déficit implica na exploração acima da capacidade de renovação como as atividades pesqueira e a florestal (Wackernagel et al., 1999).

Apesar da produção de alimentos ser suficiente para atender as demandas da população mundial, 850 milhões de pessoas, principalmente mulheres e crianças, estão marginalizados socialmente por não terem oportunidade de emprego e a terra, acesso a alimento e água não são satisfatórios. O maior número de famintos vive no sudeste asiático e a maior proporção está localizada na África subsaariana. Em torno de 20% da população sobrevive com menos de US\$1,00 dia⁻¹ e está altamente vulnerável a questões econômicas e ambientais (Bennett, 2000). Neste contexto, exploram inadequadamente os recursos naturais causando sérios impactos ambientais. Desta forma, junto com outros agentes, contribuem para a degradação de aproximadamente 22,5% dos 8,7 bilhões de hectares com potencial agrícola no mundo. Estima-se que 3,5% desta degradação seria irreversível, 10% moderada e 9% leve (Paris e Paris, 1996).

2.2. Impactos ambientais

Os problemas ambientais são distintos nos países desenvolvidos e nos que estão em desenvolvimento. Nos primeiros, haveria maior preocupação com acesso a água potável e questões sanitárias, ao passo que nos últimos, nos quais muitas vezes a preocupação é com a próxima refeição, há menor repercussão, por exemplo, da poluição do ar (Paris e Paris, 1996).

Nos últimos 35 anos, outras variáveis conseguiram compensar as perdas agrícolas por erosão, entretanto esta compensação tende a não acontecer. Os danos ambientais associados com a agricultura intensiva, como degradação dos solos, contaminações por resíduos de fertilizantes e de agrotóxicos, poluição da água e perdas na biodiversidade passam a prevalecer à medida que aumenta a demanda por alimento (Harris e Kennedy, 1999).

2.2.1. Desmatamento

Apesar dos esforços, as taxas mundiais de desmatamento ainda permanecem altas: em torno de 13 milhões de hectares por ano (Schwendenmann e Pendall, 2006). Na Amazônia, o desmatamento pode ser atribuído a fatores de diferentes escalas. Políticas macroeconômicas, que estimulam a migração para região estimulando a exploração de terras vizinhas às florestas ou que forneçam subsídios para o estabelecimento de projetos nesta região, aceleram o desmatamento. No Brasil, numa escala local, os fatores determinantes têm sido a pobreza, a luta pela posse da terra, desvalorização de produtos florestais não madeiráveis, fertilidade reduzida dos solos e conseqüentemente produção insuficiente para a demanda do dono da terra (Carpentier et al., 2000).

Considera-se que os bovinos desempenham um papel essencial em relação ao desmatamento. De forma geral, este processo teria início com a abertura de estradas para a extração de madeiras de maior valor comercial. Em seguida, haveria substituição da mata nativa pela atividade agropecuária (Nicholson et al., 2001). As pastagens extensivas são queimadas periodicamente com o objetivo de evitar a regeneração das árvores e controlar invasoras. Devido ao alto custo na região, os fertilizantes raramente são utilizados para promover a produtividade das pastagens. Apesar dos esforços para manter o pasto produtivo, este normalmente torna-se degradado entre cinco e quinze anos. Com o avançar do tempo, os teores de N, C, Ca, Mg e K do solo e a produtividade da pastagem declinam consideravelmente (Asner et al., 2004). Este processo normalmente gera poucos benefícios locais e é estimulado principalmente por subsídios governamentais e pela disputa pela posse da terra, sendo pouco influenciado pelo mercado da carne e pelo crescimento populacional (Nicholson et al., 2001).

2.2.2. Mudanças climáticas

Na superfície terrestre do planeta, em relação à atmosfera, há o triplo de C armazenado se somados os 600 Pg (Pg = 10^{15} g ou bilhão de toneladas) encontrados na vegetação com os 1500 Pg da camada de um metro de solo mais superficial (Cerri et al., 2004). A quantidade anual de C emitido é de 3,5 Pg de gases do efeito estufa (GEE), sendo a maior parte resultante da queima de combustíveis fósseis e da conversão de florestas em área agrícola (Albrecht e Kandji, 2003).

A Amazônia ocupa uma área de 700 milhões de hectares, sendo que a maior parte fica em território brasileiro, na qual a taxa de desmatamento varia entre 1,1 a 2,9 milhões de hectares por ano. Em torno de 70% da área desmatada está ocupada com pastagens (Cerri et al., 2004). Nesta região, em 1990, a conversão de florestas em pastos representou 79% das emissões de carbono (C) pelos solos deste bioma, de forma que o desmatamento na Amazônia correspondia a aproximadamente 20% das emissões brasileiras de C por combustíveis fósseis (Fearnside e Barbosa, 1998).

O Cerrado brasileiro cobre uma área aproximada de 200 milhões de hectares e, estima-se que, em 1999, a área queimada neste bioma foi de 19,76 milhões de hectares, quase 10% do total. A queima de biomassa transfere para a atmosfera até 90% do carbono acima da superfície na forma de GEE. Assim, as emissões totais destes gases por meio da queima de biomassa no Cerrado não-antrópico, em 1999, foram estimadas em 306Gg (Gg = 10^9 g ou 1000 toneladas) de CH₄, 8036 de CO, 3,8 Gg de N₂O e 137,3 Gg de NO_x. As queimadas também provocam um aumento da temperatura do solo, com o conseqüente aumento dos fluxos de CO₂ (Krug et al., 2006). No Cerrado, a biomassa presente nos solos pode igualar ou até superar a biomassa aérea, o que seria uma estratégia adaptativa diante das secas e incêndios, comuns no inverno. Diante do

grande potencial de armazenar C no solo e da extensão da área, o Cerrado ganha importância dentro do contexto das mudanças climáticas, pois é o ecossistema brasileiro mais afetado pela expansão da agropecuária, perdendo anualmente 3,4 milhões de hectares. A vegetação nativa tem sido substituída por monoculturas, como a soja, por exemplo, que não possui a mesma capacidade de armazenar carbono no solo (Delitti et al., 2003).

As mudanças climáticas estão intimamente ligadas à segurança alimentar, redução da pobreza e preservação ambiental (Sanchez, 2000) e representam um desafio singular para a economia por ser a falha de mercado de maior extensão de toda história. Trata-se de um fenômeno global que demanda profunda cooperação internacional em relação à criação de um mercado de carbono (C) e para o desenvolvimento de tecnologias que reduzam as emissões dos GEE (STERN...,2006). Alguns motivos para a mitigação da emissão dos gases do efeito estufa seriam a melhora da qualidade do ar, redução dos riscos climáticos para a agricultura e uso intensivo de veículos (Taylor, 2005).

Em relação às emissões antropogênicas de gases do efeito estufa (GEE), a atividade pecuária responde por 18% do total, 9% do gás carbônico (CO₂), 37% do metano (CH₄) e 65% das emissões de óxido nitroso (N₂O). Grande parte do CO₂ origina das mudanças do uso do solo, principalmente pelo desmatamento. A fermentação ruminal é a mais importante origem de CH₄, ao passo que o esterco é a principal fonte de N₂O. Além disso, as atividades pecuárias são responsáveis por 64% das emissões antropogênicas de amônia, que contribuem de forma significativa para a chuva ácida e para a acidificação de ecossistemas (Steinfeld et al., 2006).

As conseqüências das ações humanas em relação às mudanças climáticas são

percebidas a longo prazo: entre 40 a 50 anos. Assim, as atitudes que forem tomadas nos próximos 10 a 20 anos surtirão efeito na segunda metade do século XXI e no seguinte. O nível atual de GEE é de 430 mg dm⁻³ (miligrama por decímetro cúbico ou partes por milhão) de CO₂, consideravelmente superiores aos 280 mg dm⁻³ antes da revolução industrial. Mesmo os níveis mais reduzidos já provocaram o aquecimento global de 0,5°C e espera-se que nas próximas décadas a temperatura suba mais meio grau Celsius. Se as emissões atuais forem mantidas espera-se que a temperatura do planeta se eleve em 2 a 3 °C, entretanto há perspectivas de que os níveis de CO₂, em 2050 atinja 550 mg dm⁻³ e continue subindo (STERN...,2006).

Esperava-se que o aumento de CO₂ na atmosfera causaria efeitos benéficos como a maior produtividade das plantas. Entretanto, as adversidades como aumento de temperatura, maior frequência de enchentes e secas têm predominado (Albrecht e Kandji, 2003). O aquecimento causará impactos severos, frequentemente relacionados à água: o derretimento das geleiras aumenta o risco de enchentes em algumas regiões costeiras como algumas ilhas caribenhas, áreas do sudeste asiático e grandes metrópoles como Tóquio, Nova Iorque, Cairo e Londres, ao passo que em outras reduzem o suprimento de água, principalmente onde este recurso já é escasso. Assim, em 2050, 200 milhões de pessoas estariam permanentemente desalojadas devido ao aumento do nível do mar, secas e enchentes intensas. Haveria também redução da produção agrícola, principalmente na África; aumento das mortes causadas por desnutrição e estresse calórico e de doenças como dengue e malária e acidificação dos oceanos pelo aumento da concentração de CO₂ na atmosfera ameaçando os ecossistemas marinhos. Na Amazônia, haveria secas severas e outras perdas irreparáveis. À medida que aumenta o aquecimento, a

capacidade do planeta de armazenar C reduziria. Desta forma, torna-se necessário reduzir as emissões futuras o mais depressa possível (STERN...,2006).

As taxas de fotossíntese crescem proporcionalmente aos níveis de CO₂. Todavia, o aumento da temperatura também eleva a respiração, o que reduz o crescimento e causa danos às árvores que não se adaptam ao clima mais quente. Se estas morrerem, há liberação de CO₂ para a atmosfera. As mudanças climáticas também podem causar secas severas comprometendo o crescimento das árvores, e, conseqüentemente a absorção de carbono. O aquecimento também reduz a quantidade de água nos tecidos vegetais e favorece a ocorrência de incêndios, outra fonte de CO₂ (Tudge, 2004).

Nos solos, há de 1,5 a 3 vezes mais carbono que na vegetação (Dixon, 1995). As plantas e o solo podem armazenar 25% da quantidade total de C no planeta, sendo em torno de 50% deste C encontram-se nos sistemas agrícolas. A degradação do solo como resultado de mudanças do uso da terra tem sido um dos principais meios das emissões de C (Albrecht e Kandji, 2003). Questões como segurança alimentar, conservação dos solos e emissão de GEE estão relacionadas aos teores de carbono do solo que influi na produtividade agrícola, restauração de ecossistemas, purificação da água, ciclagem de C, N, P, S e H₂O. O potencial global de armazenar carbono por meio do controle do processo de desertificação e da restauração dos solos degradados seria, respectivamente 0,9 a 1,9 e 3,0 Pg/ano. Assim, os solos possuem capacidade de produzir alimento para a população atual e futura, desde que bem manejados, melhorados e restaurados (Lal, 2001).

2.2.3. Degradação dos solos

Durante os últimos 40 anos, quase um terço da área agrícola mundial tem sido

abandonada devido à erosão e degradação (Wood et al., 2006). Há migração das terras degradadas para áreas ainda não exploradas, pois devido ao crescimento natural da população rural, há maior demanda por alimentos. Entretanto, se não ocorrer investimentos na conservação de solo, este processo tende a se repetir (Barbier, 2000). Estima-se que em torno de 68 milhões de hectares das terras agrícolas do planeta estão em processo de degradação devido à compactação (Oliveira et al., 2003), um dos grandes entraves à obtenção de produtividades elevadas. Fatores como a textura e umidade do solo, intensidade, frequência e tipo de pastejo estão relacionados à este tipo de degradação (Lima et al., 2004).

Solos férteis com boas propriedades físicas são essenciais para a agricultura sustentável, entretanto a degradação do solo e conseqüentemente a redução da produtividade, ocorrem frequentemente devido à fertilização inadequada e falta de controle da erosão do solo. Esta poderá ocorrer por meio de quebra ventos, cobertura vegetal e uso adequado de máquinas agrícolas. Tenta-se compensar a degradação do solo por meio de aumento do uso de fertilizantes, irrigação, controle de doenças, assim, elevam-se os custos de produção (Tilman et al., 2002).

Manejo e práticas culturais inadequadas, durante a implantação e manutenção das pastagens, como uso inadequado de fertilizantes e carga animal superior à capacidade de suporte, levam à redução de fertilidade do solo. O solo fica mais exposto à medida que há perda de vigor e produtividade da cobertura vegetal. Como fica mais compactado e há queda de infiltração de água no solo, ocorrem erosão e assoreamento de cursos de água, comprometendo a sustentabilidade dos recursos naturais (Macedo, 1995). Portanto, os impactos da degradação dos solos

extrapolam os parâmetros produtivos normalmente analisados.

2.2.4. Impactos nos recursos hídricos e na biodiversidade

Algumas posturas adotadas na agricultura contaminam as fontes de água, causando eutrofização dos ambientes aquáticos e reduzindo a disponibilidade de água potável. Os serviços prestados pela biodiversidade também podem ser prejudicados se houver alteração na composição das espécies (Tilman et al., 2002). Os animais de produção correspondem a 20% da biomassa total dos animais que vivem nos ecossistemas terrestres. Devido ao fato da criação tradicional destes animais implicar em desmatamento e diversas formas de poluição, a biodiversidade é comprometida. (Steinfeld et al., 2006).

A disponibilidade de água restringe o incremento da produção agrícola, principalmente na África e Ásia (Harris e Kennedy, 1999). Estima-se que aproximadamente 400 milhões de pessoas morram anualmente devido a doenças relacionadas à água e 80 países, com mais de 40% da população mundial, sofrem restrição hídrica. O aumento da demanda por água é 2,5 vezes superior ao crescimento da população, em razão da expansão econômica, urbana e industrial. Apesar do ser humano precisar ingerir apenas alguns litros de água diariamente, o consumo de água utilizado durante a produção de alimento consumido por uma pessoa dia⁻¹ é de 1000L. Em torno de 75% da água é utilizada na irrigação agrícola e 10 a 15% das terras agrícolas estão degradadas devido à salinização e encharcamento (Bennett, 2000).

Atualmente 7% da população mundial sofre com o estresse hídrico, situação na qual cada pessoa dispõe de menos de 2000m³ de água ano⁻¹. No ano 2050, estima-se que este percentual seja de 70%. Na atualidade, há enorme desperdício deste recurso. Nos

sistemas de irrigação, estima-se que 85% da água não é utilizada pelas plantas (Sanchez, 2000). A pecuária utiliza em torno de 8% da água própria para consumo humano, principalmente para irrigação, e compromete a quantidade e qualidade da água por meio do desmatamento, degradação do solo, da poluição com dejetos animais, antibióticos, hormônios, pesticidas e fertilizantes, resultando, dentre outros, em eutrofização, problemas de saúde humana e aumento da resistência a antibióticos (Steinfeld et al., 2006). Estima-se que para produzir um quilo de carne bovina, suína e de frango sejam necessários, respectivamente, 43.000, 6.000 e 3.500 L de água (Pimentel et al., 2004).

Apesar de investimentos significativos, muitos sistemas de irrigação têm-se tornado ineficientes e sujeitos a conflitos persistentes. Técnicos responsáveis por irrigação admitem que dominam a técnica de distribuição de água, entretanto não conseguem compreender, de maneira adequada, as condições e necessidades específicas de um grande número de propriedades (Pretty et al., 2003).

3. SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE ALIMENTOS

Como as atividades humanas, incluindo a agropecuária, têm resultado em desmatamento, desertificação, degradação do solo, redução da disponibilidade de água potável e para irrigação, extinção de espécies, contribuição para o aquecimento global e para a destruição da camada de ozônio torna-se necessário repensar alguns conceitos vigentes (Paris e Paris, 1996).

3.1. Sistemas de produção fundamentados nos princípios da revolução verde

Nos trópicos, há degradação em larga escala dos recursos naturais utilizados na agricultura, como a redução na fertilidade dos solos, comprometendo a produção de alimentos. Apesar da produção de alimentos ter triplicado a partir da década de 1970, a

produtividade das lavouras implantadas por meio das técnicas desenvolvidas durante a revolução verde começam a apresentar declínio. As áreas mais favoráveis ao cultivo tornam-se mais raras e as terras marginais passam a ser mais visadas (Sanchez, 2000).

Singh (2000) relata algumas conseqüências da revolução verde na Índia. As sementes melhoradas são responsivas ao uso intensivo de insumos, implicando em aumentos na produção de alimentos. Todavia, aproximadamente vinte anos após a implantação deste pacote tecnológico, perceberam-se as primeiras evidências da degradação ambiental, principalmente de solos (compactação, erosão, desertificação, salinização, alcalinização e encharcamento), vegetação (desmatamento) e impactos nos recursos hídricos. A área irrigada quase dobrou após a década de 1960, entretanto, associada ao uso mais intensivo de fertilizantes a irrigação têm causado contaminação de fontes de água com nitratos e fosfatos e mudanças no lençol freático. A produtividade agrícola torna-se cada vez mais dependente de insumos e os teores de matéria orgânica, N, P e K têm declinado apesar da maior utilização de fertilizantes. Têm ocorrido redução da eficiência da utilização de nutrientes, degradação química e física do solo, e o uso ineficiente da água limita a produtividade agrícola, ao passo que a monocultura, mecanização e resíduos de pesticidas comprometem a biodiversidade.

A disponibilidade de fertilizantes nitrogenados sintéticos, a partir do início do século XX, promoveu o incremento da produção agrícola. Todavia, apesar das recentes melhoras na utilização de nitrogênio, as perdas deste nutriente continuarão crescendo, principalmente nos países não industrializados. A poluição por meio deste produto causa sérios problemas para a saúde humana e ao contaminar fontes de água tanto superficiais quanto profundas. O uso inadequado desta fertilização causa redução da fertilidade do solo e

consequentemente compromete a produção agrícola. O N_2O é um dos GEE e também afeta a camada de ozônio. Assim, há necessidade de aperfeiçoar o manejo de fertilizantes nitrogenados, talvez por meio do incentivo de políticas públicas (Eickhout et al., 2006).

Os principais fertilizantes nitrogenados sintéticos utilizados no Brasil são o sulfato de amônio, a amônia, a uréia e o nitrato de amônio anidro (Lima et al., 2006b). Em 2005, o consumo nacional destes fertilizantes foi de 2.201.000 toneladas (Agricultura..., 2006), ainda bastante inferior ao de outros países como China, Estados Unidos, Índia e França. Entretanto, o aumento da utilização destes fertilizantes na atividade agropecuária tem sido considerado como o principal responsável pela crescente emissão nacional de óxido nitroso (N_2O) para a atmosfera, 0,25% ao ano. Em 1994, as emissões de N_2O provenientes do uso de fertilizantes sintéticos foram estimadas em 20,76 Gg, 17% do total das emissões diretas totais de solos agrícolas, 125,72 Gg de N_2O . O nitrogênio lixiviado ou escoado também têm participação significativa, sendo responsável por 80% das emissões indiretas e 22% das emissões totais (Lima et al., 2006b).

3.2. *Em busca da sustentabilidade*

A sustentabilidade não é um estado estático utópico. Trata-se de um processo dinâmico de mudança que depende do equilíbrio entre os capitais naturais (recursos naturais), sociais (por exemplo: instituições e grupos de trabalho), humanos (habilidades e conhecimentos), físicos (por exemplo: matrizes energéticas e transporte) e financeiros (recursos financeiros disponíveis como créditos e pensões) (Bennett, 2000). Para alcançar a sustentabilidade, é necessário medir, sob uma ótica global, onde estamos no momento e onde precisamos chegar. Um país, por exemplo, pode ter a capacidade de prover produtos e serviços aquém do consumo da sua população,

dependendo da área do país, número de habitantes, nível de consumo, tecnologias utilizadas e produtividade alcançada. Isto ocorre na maioria dos países industrializados o que leva à apropriação de outras áreas no exterior (Wackernagel et al., 1999). Para produzir a quantidade de grãos utilizados na produção animal européia, por exemplo, é necessária uma área sete vezes superior à da Europa Ocidental, o que ocorre principalmente em países em desenvolvimento (Matos, 2001).

Sistemas sustentáveis são aqueles que fazem o melhor uso de bens e serviços da natureza sem causar dano a eles. Estes sistemas teriam como princípios essenciais a integração dos processos naturais como a ciclagem de nutrientes, fixação biológica de nitrogênio, regeneração do solo e de inimigos naturais; minimização do uso de insumos não renováveis que causam dano ao meio ambiente, à saúde do produtor rural e à do consumidor; aproveitar os conhecimentos do agropecuarista, assim não substitui este capital humano por insumos de alto custo e explorar a capacidade de trabalho em equipe para solucionar problemas comuns. Sistemas agrícolas que enfatizam estes princípios além de produzir alimentos e outros bens para a família do produtor rural e para o mercado, podem contribuir para uma série de bens públicos como água limpa, preservação da vida selvagem, armazenamento de carbono nos solos e proteção contra enchentes. Não obstante, a transição para estes sistemas mais sustentáveis demanda tempo e recursos financeiros, para desenvolver ou adaptar tecnologias, superar os padrões vigentes e reconstruir os capitais sociais e naturais (Pretty et al., 2003). Estes autores analisaram 208 projetos, envolvendo 8,98 milhões de produtores rurais, abrangendo uma área de 28,92 milhões de hectares em 52 países em desenvolvimento da África, Ásia e América Latina. Concluíram que podem ocorrer incrementos na produção de alimentos por meio de práticas e tecnologias

como redução ou interrupção da utilização de pesticidas, uso mais eficiente do solo e da água. Tilman et al. (2002) complementam que as práticas atuais tem inadvertidamente causado impactos ambientais e consequentemente nos serviços prestados pela natureza, evidenciando a necessidade de tecnologias agrícolas mais sustentáveis. As práticas agrícolas podem reduzir a habilidade dos ecossistemas de prover bens e serviços, tais como regeneração de solos férteis e purificação de água, realizados por florestas e pastagens.

A área ocupada com pastagens corresponde a 26% da superfície terrestre que não é coberta por gelo. Se for somada à área ocupada com produção de grãos destinados ao consumo animal, 70% das terras aráveis do planeta estarão destinadas à produção animal (Steinfeld et al., 2006). Há algumas preocupações em relação à produção agropecuária como: a substituição da vegetação nativa por áreas agrícolas e de pastagens; as emissões de metano; contaminação da água com nitrato e o alto risco de degradação, pois as pastagens ocupam principalmente áreas marginais, com baixa capacidade produtiva e são submetidas ao sobrepastejo (Bouwman et al., 2005).

Pastagens extensivas ainda ocupam e degradam vastas áreas de terra, principalmente na América Latina, onde há substituição da floresta Amazônica por este novo uso do solo, constantemente degradante, devido a compactação, erosão e pressão de pastejo excessiva. Entretanto, há uma tendência de intensificação e industrialização, com aumento tanto da quantidade de insumos utilizados quanto de resíduos gerados, pois há menor disponibilidade de terras, água e outros recursos naturais. Muitas vezes os pequenos produtores, por disporem de menor quantidade de recursos não conseguem acompanhar as mudanças e são excluídos (Steinfeld et al., 2006).

A produção de ruminantes (bovinos, caprinos, ovinos e búfalos) também apresenta tendência de intensificação, aumentando a produção tanto por indivíduo quanto por área. No período entre 1970 a 1995, a maior parte da produção de ruminantes foi realizada em 16,7% da área de pastagens. Nas últimas três décadas, a produção de carne e leite de ruminantes cresceu em torno de 40%, ao passo que o aumento da área de pastagens foi de 4%. Isto aconteceu principalmente pelo incremento da produção em sistemas intensivos e semi-intensivos, que utilizam pouca área e maior quantidade de concentrados. Em torno de 80% do aumento da produção de carne e 94% do de leite ocorreram nestes sistemas. Outro fator que contribui para o aumento da produção em menor área é a redução da utilização de tração animal, utilizada em 28% das terras aráveis, e consequentemente, dos requerimentos de energia. Entretanto, estima-se que até 2030, a demanda global por pastagens aumente em 33%, o que seria possível pelo aumento do uso de fertilizantes, consórcio de gramíneas e leguminosas e melhor manejo das pastagens (Bouwman et al., 2005).

Alguns pesquisadores acreditam que as alternativas para conservação só seriam viáveis em menor escala e deve-se dar maior atenção em tornar as propriedades ainda mais produtivas, o que reduziria a pressão sob os habitats naturais (Nicholson et al., 2001). Não obstante, em torno de 50% das terras aproveitáveis são utilizadas em atividades agropecuárias intensivas. Se as técnicas agrícolas correntes continuarem a ser utilizadas para dobrar a produção de alimentos, os detritos de fósforo e nitrogênio tendem a triplicar (Tilman et al., 2002).

Alguns limitantes comprometem o aumento da produção agrícola como redução do suprimento de água para irrigação, da eficiência e disponibilidade de fertilizantes, da disponibilidade de terras e instabilidade social (Paris e Paris, 1996). No contexto atual, principalmente diante das mudanças

climáticas, buscam-se soluções tanto adaptativas, como o desenvolvimento de tecnologias para conviver com a escassez de água, quanto mitigatórias como o aumento dos estoques de C nos sistemas agrícolas, melhora do uso da água e dos fertilizantes nitrogenados, reduzindo, assim, as emissões de N₂O. Este evento climático está intimamente ligado à segurança alimentar, redução da pobreza e preservação ambiental (Sanchez, 2000). Assim, buscam-se sistemas com baixa entrada de insumos, que minimizam distúrbios no solo e nas plantas, enfatizam vegetação perene e que possuem maior potencial de armazenar C e N (Dixon, 1995).

Têm-se buscado conciliar a segurança alimentar e a redução da pobreza rural com o manejo de recursos naturais por meio de esforços interdisciplinares no desenvolvimento de novas tecnologias (Sanchez, 2000). Paralelamente às mudanças na agropecuária, devem ocorrer avanços na utilização da energia, manufaturas, transportes e outros setores econômicos que também causam impactos ambientais (Tilman et al., 2002).

As propriedades orgânicas, que geralmente têm maior foco na sustentabilidade, buscam reduzir os impactos ambientais advindos de práticas agrícolas. Em condições de estresse hídrico como na Austrália, a quantidade de água utilizada foi seis vezes menor que nas fazendas convencionais. Por outro lado, o uso direto de energia, na forma de combustível é aproximadamente 20% maior nestas propriedades, por requererem maior número de operações com máquinas e demandarem mais mão de obra ao não utilizarem herbicidas e fertilizantes sintéticos. Entretanto, o gasto com a energia indireta, que ingressa na propriedade por meio de agroquímicos, é bem menor nas orgânicas, 63,8% do total das convencionais. Os impactos gerados em cada sistema de produção dependem do que é produzido. O impacto gerado pela criação de ovinos é

20% menor nas fazendas orgânicas, ao passo que a bovinocultura de corte causa 15% mais impactos nessas fazendas, ao utilizarem pastejo extensivo (Wood et al., 2006).

Nas fazendas orgânicas, há menor impacto por área, por exemplo, a emissão de GEE por hectare, nestas propriedades, varia entre 42 a 102% das convencionais. Não obstante, se o índice utilizado for quantidade de GEE emitido por tonelada de leite produzido, o percentual em relação às propriedades tradicionais seria entre 91 a 104% (Halberg et al., 2005).

3.3. Sistemas agroflorestais

Sistemas agroflorestais referem-se a sistemas e práticas nos quais espécies lenhosas perenes, como árvores e arbustos, são consorciadas com lavouras e/ou animais (Sinclair, 1999). Uma das modalidades dos sistemas agroflorestais são os sistemas silvipastoris (Nair, 1985). Diante dos impactos causados pela revolução verde, os SAF têm sido cogitados pelo fato das árvores bombearem nutrientes e água das camadas mais profundas para as superficiais e facilitarem a regeneração dos recursos naturais, como a fertilidade do solo, para manter a produtividade agrícola (Singh, 2000). Esta tecnologia tem sido utilizada há pelo menos 1300 anos e a consorciação de árvores com a agropecuária teve como objetivo aumentar a produção das lavouras, conservar o solo e servir de fonte de madeira, frutas e forragem (Sanchez, 1995).

3.3.1. Aspectos produtivos dos sistemas silvipastoris

As árvores têm sido consideradas competidores das pastagens exercendo um impacto negativo na produção forrageira (Scholes e Archer, 1997) o que pode ocorrer dependendo do clima, espécie arbórea e forrageira. Entretanto, estas interações também podem ser positivas (Belsky, 1994), possibilitando a intensificação da produção (Nicholson et al., 2001).

A introdução de SAF seria altamente recomendada em terras degradadas e não produtivas e em pastagens, nas quais poderia ocorrer a introdução de árvores (Schroeder, 1994). Por meio da utilização de sistemas de policultivo e/ou agroflorestais conseguem-se reduzir as perdas devido a ervas invasoras, pragas e doenças e otimizar o uso de água, luz e nutrientes (Altieri, 1999). Na África, a introdução de árvore têm minimizado os efeitos da erosão, servem como quebra vento e numa escala maior, servem como uma área tampão para o processo de desertificação (Barbier, 2000).

Estudos realizados sobre o efeito da remoção de árvores sobre a produtividade das pastagens na Austrália (Sangha et al., 2005) e na Califórnia (Jackson et al., 1990) chegaram a conclusões semelhantes. Os autores verificaram que houve aumento de produtividade da forragem a curto prazo, possivelmente devido à maior luminosidade e menor competição por nutrientes e água debaixo das árvores. Entretanto, após alguns anos, houve redução na produtividade que poderia ser atribuído à maior perda de nutrientes e interrupção na ciclagem do N e P e do ciclo hidrológico. Assim, comprovou-se que os ganhos iniciais não foram sustentáveis.

Se o consumo de P persistir nos mesmos níveis atingidos após a segunda guerra mundial, estimam-se que as reservas deste elemento se esgotem em meados do século XXI. Logo, por se tratar de um recurso limitado, o uso deve ser otimizado. Nos solos com pH abaixo de 5,5, a maior parte do P encontra-se na forma de compostos altamente insolúveis de Fe e Al (Fearnside, 2003). Cardoso et al. (2005) concluíram que os sistemas agroflorestais podem influenciar a dinâmica do P por meio da conversão de P inorgânico em P orgânico. Isto foi atribuído à matéria orgânica acrescentada pelas árvores que favorecem os microrganismos do solo. Estes desempenham um papel fundamental nas transformações de fósforo

orgânico, ao solubilizar baixos teores de fósforo inorgânico e proteger o P de adsorção por Fe e Al por liberação gradual de P à medida que ocorre renovação microbiana.

No contexto das mudanças climáticas, a produção animal também será afetada diretamente pela frequência mais elevada de dias com estresse climático, assim, serão necessárias algumas adaptações como a provisão de sombra (Campbell e Smith, 2000). Os elementos climáticos como umidade relativa, vento e temperatura podem comprometer a produtividade animal, que será mais intensamente afetada quanto maior for o potencial produtivo dos animais. A melhor sombra é proporcionada pelas árvores e, na ausência destas, torna-se necessário a implantação de sombras artificiais (Martello et al., 2004). Na Nicarágua, Betancourt et al. (2001) constataram que o acesso a pastagens com maior cobertura arbórea reduziu o estresse climático das vacas ($P < 0,05$). A melhora da ambiência implicou num aumento no tempo de pastejo ($P < 0,0001$) e na produção de leite em 29% ($P < 0,05$). A maior produtividade pode ser atribuída também à ingestão de frutos e folhagem das árvores.

Devido aos aumentos dos níveis de CO_2 , há expectativas em relação ao incremento da produção de forragem. Não obstante, estima-se que a redução da pluviosidade e temperaturas acima do nível ótimo da forrageira, comprometa o desenvolvimento desta, principalmente das C_3 , cujas pastagens tendem a ser invadidas por C_4 . Na ausência de mudanças significativas da composição vegetal, a qualidade da forragem vai declinar em sistemas nos quais a eficiência da conversão alimentar é limitada por proteína, o que ocorre principalmente nos trópicos. Por outro lado, predominantemente nas regiões temperadas, pode até ocorrer aumento onde os carboidratos são limitantes. A suplementação, apesar de custosa ou até

impraticável, pode suprimir os efeitos da redução de qualidade da forragem. A necessidade desta prática pode tornar algumas regiões, principalmente nos trópicos e subtropicais, ainda mais marginalizadas (Campbell e Smith, 2000).

Todavia, a sombra, mesmo a artificial, desde que em níveis apropriados, tem promovido incrementos nos níveis de N da forragem (Feldhake, 2001; Ludwig et al., 2004). De maneira geral, sob a copa das árvores há menores flutuações na transmissão de luz, temperatura do ar e radiação fotossinteticamente ativa em relação à áreas abertas. Assim, há interferência direta na forragem sob influência destas árvores, que apresentaria menor variação sazonal, tanto quantitativamente quanto qualitativamente, em relação à forragem não sombreada (Silva-Pando et al., 2002).

3.3.2. *Serviços ambientais prestados pelos sistemas silvipastoris*

Na literatura, há muitos relatos de benefícios ambientais promovidos pelos SSP como melhora da qualidade e quantidade de água, conservação do solo, armazenamento de carbono e preservação da biodiversidade (Shrestha e Alavalapati, 2004). Estima-se que um hectare de sistema silvipastoril proveria a mesma quantidade de bens e serviços de cinco a 20 ha de áreas desmatadas (Dixon, 1995).

Os serviços prestados pelo SAF podem ser classificados em duas categorias. Os primeiros são de interesse imediato do produtor rural, como alimento e produtos da árvore (frutas, produtos medicinais e madeira). Outras funções não beneficiam o dono da terra prontamente como estes, apesar de serem essenciais como os serviços ambientais (Izac e Sanchez, 2001). Estimaram-se que 17 serviços ambientais em 16 biomas, excluindo tundra, deserto e áreas de gelo/rochas, equivalem a US\$33,00 trilhões anuais, sem contabilizar os estoques de recursos nestes biomas, quase o dobro do

PIB mundial, US\$18,00 trilhões anuais, mais de 250 vezes superior à produção de alimentos, US\$0,13 trilhões por ano (Costanza et al., 1997 citados por Izac e Sanchez, 2001).

3.3.2.1. *Influência nos recursos hídricos*

O solo sob influência de árvores, devido aos maiores conteúdos de matéria orgânica, possui maior capacidade de armazenar água (Douglas et al., 2006). Lehmann et al. (1998) avaliaram o comportamento da *Acacia saligna* em um sistema agroflorestal e verificaram que as raízes desta arbórea tornavam-se mais profundas na estação seca ou encurtavam na época chuvosa, demonstrando maior capacidade de explorar os recursos do solo em relação às monoculturas. Assim, mesmo na época de chuvas, houve maiores teores de água nas camadas superficiais de solo na área sob influência de árvores em relação àquelas fora da interferência das árvores.

A bovinocultura pode ser uma fonte de poluição de fontes de água com fósforo causando eutrofização em ecossistemas aquáticos. Os SSP possuem o potencial de reduzir o carreamento deste mineral. Pesquisas têm comprovado que faixas de 20 a 30m de vegetação ripária reduz a contaminação da água por fósforo e nitrogênio em 77% e 80%, respectivamente (Shrestha e Alavalapati, 2004).

As companhias distribuidoras de água potável e as empresas hidrelétricas precisam de um fluxo contínuo de água em qualidade (sem contaminantes e sedimentos) e quantidade. Entretanto, esse fluxo é influenciado pelo uso das terras próximas às bacias hidrográficas, realidade também comprovada em estudo realizado em hidrelétricas na Guatemala. Na barragem de Aguacapa, são retirados 30.000 m³ de sedimentos anualmente, implicando num custo de manutenção de US\$76.575,00 enquanto que na barragem de Los Esclavos, o custo foi de US\$502.570,18. Para essa

última, há demanda de mais de 22 dias ano⁻¹ para a manutenção, quando há paralisação da geração de energia. Na bacia do Rio Maria Linda (Barragem de Aguacapa), os sistemas agroflorestais eram a forma de ocupação de solo que menos gerava sedimentos, 11.753 t ha⁻¹ano⁻¹, enquanto a agricultura era o que mais gerava, 379.133 t ha⁻¹ano⁻¹. Na bacia do rio Los Esclavos, ocorreu situação semelhante: os sistemas agroflorestais geravam 2.937 t ha⁻¹ano⁻¹, enquanto a agricultura 28.175 t ha⁻¹ano⁻¹. Além das menores taxas de erosão, a cobertura vegetal favorece a infiltração de água, ou seja, 68,92% da água que atinge o solo ocupado por um bosque infiltra no solo, enquanto os valores para pastos e o solo sem cobertura, são 24,75 e 6,33% respectivamente (Robledo, 2003).

3.3.2.2. *Influência na biodiversidade*

As árvores na pastagem servem como refúgio para uma grande variedade de espécies de aves, favorecendo a biodiversidade (Nicholson et al., 2001). Outro efeito já observado em áreas sombreadas é um aumento na população de minhocas, pequenos mamíferos e artrópodes, responsáveis por redução na densidade do solo e aumento na macroporosidade do solo (Fisher, 1995 e Rhoades, 1997).

3.3.2.3. *Influência no armazenamento de carbono*

O objetivo dos SAF é a produção sustentável de alimento e o armazenamento de C é apenas uma consequência positiva do aumento da fotossíntese pelas árvores introduzidas e pela redução da pressão por novos desmatamento (Schroeder, 1994). O desmatamento de floresta primária emitirá mais C que a quantidade armazenada em 25 anos ou mais por florestas plantadas, assim a preservação destas florestas nativas deve ser prioridade na redução de carbono nos trópicos. Os SAF e florestas plantadas, ao fornecer madeira em áreas já desmatadas, contribuiriam com este serviço ambiental ao

reduzir o desmatamento motivado por demanda de madeira e por conservar o solo, se bem manejados (Montagnini e Nair, 2004).

Há certa incompatibilidade entre o armazenamento de carbono e a lucratividade do produtor. Não há como atingir níveis máximos de eficiência em ambos ao mesmo tempo, entretanto há como fracassar simultaneamente, em terras degradadas, nas quais há pouco C armazenado e a produtividade é reduzida. A meta seria alcançar níveis intermediários em ambos os critérios (Sanchez, 2000). As emissões de CO₂ seriam reduzidas principalmente por meio de mudanças no uso do solo (Nicholson et al., 2001). O aumento da produtividade, tanto na agricultura quanto na pecuária, pode reduzir a emissão de gases do efeito estufa originados do desmatamento e da degradação das pastagens. Algumas medidas como plantio direto e introdução de sistemas agroflorestais podem armazenar mais de 1,3 toneladas de carbono ha⁻¹ ano⁻¹ (Steinfeld et al., 2006).

Entretanto, o armazenamento de C no solo é um processo finito e esta quantidade poderia ser armazenada nos próximos 50 anos. O potencial destes sistemas em armazenar carbono é bem reconhecido, entretanto há algumas restrições como futuras mudanças das questões climáticas, uso e cobertura do solo, desempenho das árvores em solos pobres e climas secos, pestes e doenças como nematóides. Além disso, há necessidade de esforços para melhorar os métodos de estimar estoques de carbono e balanço de gases como N₂O e CH₄ (Albrecht e Kandji, 2003).

Os microrganismos do solo são os principais depósitos de CH₄ (Nicholson et al., 2001). A produção deste gás pelo rúmen é influenciada diretamente pela qualidade da dieta, sendo que aquelas com utilização de forragens e concentrados de maior digestibilidade resultam em menores perdas

de energia na forma de CH₄ (Nicholson et al., 2001). Todavia, não há consenso na literatura em relação à digestibilidade e palatabilidade em forrageiras sombreadas. Jansen et al. (1997) entendem que a *B.brizantha* sob sombra de árvores produziria maior proporção de hastes, logo apresentaria menor digestibilidade em relação à que desenvolveu em pleno sol. Sousa (2005) também destaca que o sombreamento excessivo pode chegar a reduzir a digestibilidade *in Vitro* (DIVMS). Por outro lado, Carvalho et al. (2002) encontraram valores de DIVMS mais elevados na forrageira sombreada (59,01) em relação àquela sem influência de árvores (52,73).

Todavia, o balanço dos gases pode variar entre as modalidades de SAF. Sistemas agrosilviculturais (árvores madeiras e lavouras e/ou pecuária) podem armazenar C por um tempo, ao passo que SSP, com a presença de ruminantes, e sistemas nos quais há plantações de arroz são fontes de gases como o metano. Os solos sob SSP podem se tornar compactados e suscetíveis à erosão quando mal manejados e tornam-se fonte de C e N para a atmosfera (Dixon, 1995).

3.3.3. Aspectos econômicos e limitações dos SSP

Em uma análise econômica em Belize, comparando SSP e sistemas tradicionais, Alonzo et al. (2001) concluíram que os primeiros proporcionaram maior benefício financeiro, 6% para a relação benefício custo e 44% para o valor presente líquido, apesar do custo de mão de obra ser 43,6% maior. Os benefícios adicionais proporcionados pelo SSP incluem madeira, fixação de N, armazenamento de C, aumento das receitas e redução do risco pela diversificação das atividades. Entre os maiores limitantes para a adoção estão o risco do capital e incertezas sobre o mercado.

Nos SSP, o potencial de produção de carne supera o das pastagens não melhoradas. Entretanto, o plantio de árvores apresentou-se oneroso e dependendo do preço da carne vendida, pode não ser uma opção viável para aumentar a produção animal. Apesar dos benefícios gerados dos SAF, um fator limitante para a implantação são os custos de estabelecimento (Jansen et al., 1997), que oscilam entre US\$500 a 3000 ha⁻¹, sendo que onde não há degradação a despesa é de US\$1000⁻¹ (Dixon, 1995). Todavia, supõe-se que os custos de implantação por meio de regeneração natural (Viana et al., 2002) serão menos onerosos.

A longo prazo, as florestas plantadas podem representar maior retorno financeiro em relação a pastagens. Contudo, a necessidade de recursos durante o período de conversão da pecuária para a silvicultura pode inviabilizar o processo. A integração das duas atividades por meio dos sistemas silvipastoris podem ser uma alternativa para otimizar os ganhos econômicos a curto e longo prazo (Kallenbach et al., 2006). Além disto, o aumento de C no solo por meio de SAF apresenta custo mais baixo, varia entre US\$1 a 69, com média de US\$13 em relação a outras formas de armazenamento, como o desenvolvimento de tecnologias para a substituição de combustíveis fósseis (Dixon, 1995). O carbono armazenado por meio da introdução de florestas possui um custo de oportunidade de 8 a 16% maior por tonelada armazenada que o armazenado nos SAF. Isto ocorre devido à exploração econômica de atividades junto com os SAF, que amortizam este custo, principalmente nos primeiros anos de implantação (Shively et al., 2004).

O sucesso dos SSP depende de forrageiras tolerantes ao sombreamento, de práticas de manejo que possibilitem a produtividade e persistência no sub-bosque (Castro et al., 2001) de conhecimento técnico, mão de obra e disponibilidade de terra. Entretanto, trata-se de uma tecnologia bastante versátil que

adapta às diferentes situações (Schroeder, 1994).

Todavia, expectativas de que os SAF se constituíssem em uma ferramenta para o desenvolvimento não têm sido atingidas, pois tem recebido pouca atenção e acaba sendo pouco explorado. Assim, há necessidade de aperfeiçoamento desta tecnologia principalmente em condições de recursos escassos e em propriedades pequenas (Nair, 1998).

4. PAGAMENTOS POR SERVIÇOS AMBIENTAIS E POLÍTICAS PÚBLICAS

Impactos ambientais causados pela pecuária normalmente resultam de erros de manejo influenciados principalmente pela pobreza, crescimento populacional, falta de entendimento apropriado da dinâmica do agroecossistema, urbanização, desigualdade social, falhas governamentais e institucionais. Como estes são fatores determinantes, outras forças não diretamente ligadas à agricultura superam soluções cogitadas somente para a degradação causada diretamente pela pecuária. Assim, são necessárias políticas que beneficiem principalmente a população rural com baixo poder aquisitivo com o intuito de minimizar os impactos ambientais (Nicholson et al., 2001). Ao idealizar políticas públicas para combater a pobreza rural e a degradação do solo, há necessidade de um melhor entendimento de como as políticas vigentes e investimentos públicos afetam o manejo do solo e as decisões de proprietários rurais (Barbier, 2000).

Um desafio para o estabelecimento de políticas públicas seria fazer com que o produtor rural passe a contabilizar os custos ambientais como custos de produção, o que poderá ser possível por meio da cobrança de taxas ambientais. Entretanto, diante da dificuldade de escolha do instrumento

adequado, prefere-se estabelecer leis que são difíceis de cumprir (Paris e Paris, 1996).

Os efeitos relativos à conservação de água seriam percebidos principalmente a nível local. Em contrapartida, questões como a conservação da biodiversidade e do armazenamento de carbono podem apresentar numa escala global. Assim, há pressões tanto locais quanto internacionais para que as externalidades geradas na propriedade rural, tanto positivas quanto negativas, sejam internalizadas. Isto implicaria em determinar um valor monetário para conseqüências geradas pela atividade agropecuária. Os produtos gerados nos SAF como carne, leite, grãos, frutas, madeira, plantas medicinais, entre outros, possuem um valor mercadológico. Em contrapartida, os serviços providos por estes sistemas como o armazenamento de C, a conservação de água e da biodiversidade, ainda não são valorados economicamente (Sanchez, 1995).

Normalmente, os donos da terra entendem que a prestação destes serviços implicará em mudanças nas práticas produtivas, aumentos do custo de produção e redução da produtividade (Shrestha e Alavalapati, 2004). Desta forma, para a elaboração de políticas públicas efetivas, há necessidade de identificar os limitantes e criar mecanismos que incentivem a adoção destes sistemas (Sanchez, 1995). Outras opções mercadológicas que poderiam ser compatíveis com os SSP seriam o manejo florestal sustentável, a criação de centros de caça e a exploração do ecoturismo (Shrestha e Alavalapati, 2004).

Algumas medidas deveriam ser tomadas como extinguir subsídios que resultam em impactos ambientais, contabilizar as externalidades ambientais nos preços e, em alguns casos, incentivos diretos são necessários como o pagamento por serviços ambientais pela conservação do solo, da biodiversidade e das fontes de água, além do

seqüestro de carbono (Steinfeld et al., 2006). Como muitas atividades da agropecuária estão sujeitas às crises econômicas e propiciam margens de lucro reduzidas, um mecanismo adequado que institísse pagamentos, mesmo que modestos, por armazenamento de C promoveria mudanças no uso do solo (Jong et al., 2000). À medida que o conceito de créditos de C se torna comum, muitos países e organizações procurarão por maneiras distintas de armazenar carbono (Montagnini e Nair, 2004).

Diante da questão da água, políticas públicas, como a cobrança pelo uso e contabilização de externalidades, são necessárias (Steinfeld et al., 2006). Em relação às mudanças climáticas, foi instituído o protocolo de Kyoto, que tem como meta reduzir as emissões globais de gases estufa em 5% ou mais entre 1990 e 2012. Por meio do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), um país que supera sua cota de emissões pode adquirir por créditos de carbono de países que armazenaram este elemento. A introdução de florestas e o reflorestamento são formas aceitas de ocupação do solo reconhecida como MDL, o que poderia estimular o plantio de árvores nos países em desenvolvimento. A adoção de sistemas silvipastoris poderia ser estimulada se os benefícios ambientais passarem a ser contabilizados pelos donos das terras (Montagnini e Nair, 2004). A maior parte do risco representado pelas mudanças climáticas, mas não todo, pode ser reduzido por uma forte política de mitigação. Esta teria custos bem mais reduzidos, em torno de 1% do Produto Interno Bruto (PIB) para estabilizar as emissões em 500 a 550 mg dm⁻³ CO₂ em 2050, que os prejuízos causados pelos impactos, 5% do PIB ano⁻¹. Os esforços nas próximas décadas devem ser proporcionais aos que ocorreram durante as grandes guerras (STERN...,2006).

Se houvesse pagamento por armazenamento de C e políticas nacionais que incentivassem esta prática, estimam-se que poderiam ser implantados anualmente 10,5 milhões de hectares de SAF. Esta estimativa baseia-se no estabelecimento anual em 20% dos 15 milhões de hectares desmatadas anualmente (3 milhões) e em 3% dos 250 milhões de hectares degradados próximos a florestas (7,5 milhões) (Sanchez, 2000).

Se o esforço para a preservação dos recursos naturais partir apenas de cientistas e alguns poucos parceiros, não surtirá efeito na dimensão desejada. Colocar estas idéias em prática requer a união de ecologistas, economistas, estatísticos, empresários, proprietários de terra e idealizadores de políticas públicas em departamentos governamentais e agências de desenvolvimento. Desta forma, será possível que obtenham-se informações essenciais para estabelecer políticas públicas de forma que conhecimento científico seja convertido em atitudes práticas. O centro mundial de pesquisa em SAF (ILRI), em Nairobi, Quênia, tem conseguido unir donos de terra, grupos conservacionistas, agências de desenvolvimento e pesquisadores com o intuito de desenvolver um modelo que recompense a prestação de serviços ambientais (BRINGING...,2005).

Atento a essa ameaça, o Banco Mundial, em projeto piloto realizado na Costa Rica, Nicarágua e Colômbia, efetua pagamento aos produtores pelos serviços já prestados (Pagiola et al., 2004). Nesse projeto, além de reconhecer financeiramente os benefícios ambientais já existentes, também são bonificados os produtores que implantassem SSP. O pagamento é experimental, por tempo limitado, quatro anos, e paga por mudanças no uso de solo, estabelecendo-se um índice para cada tipo de ocupação. Por exemplo: um hectare de pastagem melhorada sem árvores tem um índice de biodiversidade de 0,1 e de carbono de 0,4. A soma dos dois índices corresponde a 0,5. Se

a densidade de árvores nessa pastagem passar a ser superior a 30 por hectare, os valores dos índices passarão a ser, na mesma ordem acima, de 0,6, 0,7 e 1,3. A diferença entre o valor inicial total de 0,5 e o valor total após mudanças no uso do solo é de 0,8. Para cada ponto, o produtor recebe US\$75,00, assim, receberá nesse caso US\$60,00 ($US\$75,00 \times 0,8$). O pagamento médio durante o período experimental será de US\$112,3 $ha^{-1}ano^{-1}$ cobrindo mais da metade dos investimentos (Gobbi e Casasola, 2001).

4.1. Indicadores dos serviços ambientais

Como o conceito de pegada ecológica não engloba a qualidade de vida da população, há necessidade de complementá-lo com indicadores sociais (Wackernagel et al., 1999). Alguns indicadores são baseados na quantidade de insumos utilizados ou emissões, como utilização e/ou perdas potenciais de, por exemplo, nutrientes, fontes energéticas não renováveis, água, agrotóxicos e GEE. Outros indicadores são baseados em práticas como utilização de plantio direto, qualidade da água e conservação da biodiversidade (Halberg et al., 2005).

Na Europa, várias ferramentas com o propósito de determinar o impacto ambiental de vários sistemas de produção animal têm sido desenvolvidas. Estas ferramentas diferem quanto às variáveis ambientais analisadas e como os indicadores são construídos e interpretados. Estes indicadores podem ser utilizados no processo de benchmarking, ou seja, os produtores rurais aperfeiçoam as técnicas utilizadas em suas fazendas por meio da aprendizagem de maneiras mais efetivas de produção realizadas em fazendas com características similares. Alguns indicadores têm como base a área da fazenda, por exemplo, emissão de GEE por hectare. Ao passo que outros são expressos em unidade de produto, por exemplo, excesso de N e P por kg de carne produzido. Em caso de

impactos ambientais locais ou regionais, devem-se utilizar os primeiros indicadores, ao passo que ao se tratar de uma escala global, os últimos são mais adequados (Halberg et al., 2005).

Na Áustria, o agropecuarista é remunerado se adota práticas desejáveis como o policultivo, rotação de culturas, manutenção de árvores e uso reduzido de fertilizantes e pesticidas. Outra ferramenta, muito utilizada no Reino Unido, é a comparação entre a situação atual e a recomendada. Mede-se o impacto ambiental, por exemplo, da lixiviação de nitrato causada pela utilização de fertilizantes nitrogenados, e, em seguida, realizam projeções sobre os impactos ambientais em caso de adoção das recomendações. Na Holanda, os produtores rurais são obrigados a relatar a entrada e saída de minerais na propriedade, na forma de insumos e produtos, respectivamente. Considera-se que a diferença entre estes valores é perda para o meio ambiente e deve estar dentro de um limite pré-estabelecido, caso contrário o proprietário é multado. Este indicador seria mais adequado que os anteriores, pois contabiliza a eficiência com que o recurso foi utilizado e, conseqüentemente o impacto ambiental gerado (Halberg et al., 2005).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Políticas e tecnologias inadequadas contribuem consideravelmente para a insustentabilidade econômica, social e ambiental da produção agropecuária brasileira. Os SSP são uma opção sustentável para restabelecer o equilíbrio nestas três esferas e atender às demandas globais no século XXI. Não obstante, há necessidade de políticas públicas que incentivem a adoção, pois os serviços prestados não possuem valor mercadológico.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALTIERI, M.A. Applying agroecology to enhance the productivity of peasant farming systems in Latin América. *Environment, Development and Sustainability*, v.1, p.197-217, 1999.

ALBRECHT, A.; KANDJI, S.R. Carbon sequestration in tropical Agroforestry systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v.99, p. 15-27, 2003.

ALONZO, Y.M.; IBRAHIM, M.; GÓMEZ, M.; PRINS, K. Potencial y limitaciones para la adopción de sistemas silvipastoriles para la producción de leche en Cayo, Belice. *Agroforestería en las Américas*, v.8, n.30, p. 24-27, 2001.

ASNER, G.P.; TOWNSEND, A.R.; BUSTAMANTES, M.M.C.; NARDOTO, G.B.; OLANDER, L.P. Pasture degradation in the central Amazon: linking changes in carbon and nutrient cycling with remote sensing. *Global Change Biology*, v.10, p.844-862, 2004.

AGRICULTURA brasileira em números: anuário 2005. [Brasília, Brasil]: ANDA / MAPA, 2006. Disponível em: < http://www.agricultura.gov.br/pls/portal/docs/PAGE/MAPA/ESTATISTICAS/AGRICULTURA_EM_NUMEROS_2005/05.05.XLS > Acessado em: 10/01/2007.

BARBIER, E.B. The economic linkages between rural poverty and land degradation: some evidence from Africa. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v.82, p.355-370, 2000.

BELSKY, A.J. Influence of trees on savanna productivity: tests of shade, nutrients, and tree-grass competition. *Ecology*, v.75, n.4, p. 922-932, 1994.

BENNETT, A.J. Environmental consequences of increasing production: some current perspectives. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 82 p.89-95, 2000.

BETANCOURT, K.; IBRAHIM, M.; HARVEY, C.A.; VARGAS, B. Efecto de la cobertura arbórea sobre el comportamiento animal en fincas ganaderas de doble propósito em Matiguás, Matagalpa, Nicaragua.

Agroforestería en las Américas, v. 10, n. 39-40, p.47-51, 2003.

BOUWMAN, A.F.; VAN DER HOEK, K.W.; EICKHOUT, B.; SOENARJO, I. Exploring changes in world ruminant production systems. *Agricultural Systems*, v.84, p.121-153, 2005.

BRIGING the gulf. *Nature*, v.437, n. 7059, p. 595, 2005.

CAMPBELL, B.D.; SMITH, D.M.S. A synthesis of recent global change research on pasture and rangeland production: reduced uncertainties and their management implications. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 82, p.39-55, 2000.

CARDOSO, I.M.; MEER, P.V.; OENEMA, O.; JANSSEN, B.H. KUYPER, T.W. Analysis of phosphorus by ³¹P NMR in Oxisols under agroforestry and conventional coffee systems in Brazil. *Geoderma*, v.112, p. 51-70, 2003.

CARPENTIER, C.L.; VOSTI, S.A.; WITCOVER, J. Intensified production on western Brazilian Amazon settlement farms: could they save the forest? *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 82, p.73-88, 2000.

CARVALHO, M.M.; FREITAS, V.P.; XAVIER, D.F. início de florescimento, produção e valor nutritivo de gramíneas forrageiras tropicais sob condição de sombreamento natural. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.37, n.5, p.717-722, 2002.

CERRI, C.E.P.; PAUSTIAN, K.; BERNOUX, M.; VICTORIA, R.L.; MELILLOS, J.M.; CERRI, C.C. Modeling changes in soil organic matter in Amazon forest to pasture conversion with the Century model. *Global Change Biology*, v.10, p. 815-832, 2004.

DELITTI, W.B.C.; PAUSAS, J.G.; BURGER, D.M. Belowground biomass variation in two Neotropical savannahs (Brazilian Cerrados) with different fire histories. *Annual Forest Science*, v.58, p.713-721, 2003.

DIXON, R.K. Agroforestry: sources or sinks of greenhouse gases? *Agroforestry Systems*, v.31, p.99-116, 1995.

- DOUGLAS, G.B.; WALCROFT, A.S.; HURST, S.E.; POTTER, J.F.; FOOTE, A.G.; FUNG, L.E.; EDWARDS, W.R.N.; VAN DEN DIJSEDE, C. Interactions between widely spaced young poplars (*Populus* spp.) and the understorey environment. *Agroforestry Systems*, v.67, p.177-186, 2006.
- EICKHOUT, B.; BOUWMAN, A.F.; VAN ZEIJTS, H. The role of nitrogen in world food production and environmental sustainability. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 116, p.4-14, 2006.
- FEARNSIDE, P.M. Fósforo e a capacidade de suporte humano na Amazônia brasileira [Manaus, Brasil], 2003. Disponível em <http://philip.inpa.gov.br/publ_livres/mss%20and%20in%20press/PHOS-K5-port.pdf> Acesso em 17/12/2006.
- FEARNSIDE, P.M.; BARBOSA, R.I. Soil carbon changes from conversion of forest to pasture in Brazilian Amazon. *Forest Ecology and Management*, v.108, p.147-166, 1998.
- FELDHAKE, C.M. Microclimate of a natural pasture under planted *Robinia pseudoacacia* in central Appalachia, West Virginia. *Agroforestry Systems*, v.53, p.297-303, 2001.
- FISHER, R.F. Amelioration of degraded rain forest soils by plantation of native trees. *Soil Science Society of American Journal*, v.59, 1995.
- GOBBI, J.; CASASOLA, F. Comportamiento financiero de la inversión em sistemas silvopastoriles em fincas ganaderas de Esparza, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas*, v.10, n. 39-40, p.52-60.
- GREGORY, P.J.; INGRAM, J.S.I. Food and forestry: global change and global challenges. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v.82, p.1-2, 2000.
- HALBERG, N.; VEM DER WERF, H.M.G.; BASSET-MENS, C. et al. Environmental assessment tools for the evaluation and improvement of European livestock production systems. *Livestock Production Systems*, v. 96, p.33-50, 2005.
- HARRIS, J.M.; KENNEDY, S. Carrying capacity in agriculture: global and regional issues. *Ecological Economics*, v.29, p.443-461, 1999.
- IZAC, A.M.N.; SANCHEZ, P.A. Towards a natural resource management paradigm for international agriculture: the example of agroforestry research. *Agriculture Systems*, v.69, p. 5-25, 2001.
- JACKSON, L.E.; STRAUSS, R.B., FIRESTONE, M.K., BARTOLOME, J.W. Influence of tree canopies on grassland productivity and nitrogen dynamics in deciduous oak savanna. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v.32, p. 89-105, 1990.
- JANSEN, H.G.P.; IBRAHIM, M.A.; NIEUWENHUYSE, A.; MANNETJE, L.; JOENJE, M.; ABARCA, S. The economics of improved pasture and silvopastoral technologies in the Atlantic Zone of Costa Rica. *Tropical Grasslands*, v.31, p.588-598, 1997.
- JONG, B.H.J.; TIPPER, R.; MONTOYA-GÓMEZ, G. An economic analysis of the potential for carbon sequestration by forests: evidence from southern Mexico. *Ecological Economics*, v.33, p. 313 a 327, 2000.
- KALLENBACH, R.L.; KERLEY, BISHOP-HURLEY, G.J. Cumulative forage production, forage quality and livestock performance from a annual ryegrass and cereal rye mixture in a Pine-Walnut Silvopastoral. *Agroforestry Systems*, v.66, p. 43-53, 2006.
- KRUG, T.; FIGUEIREDO, H.B.; SANO, E.E. et al. Emissões de gases de efeito estufa da queima de biomassa no Cerrado não-antrópico utilizando dados orbitais [Brasília, Brasil], 2006. Disponível em: <<http://mct.gov.br/clima>> Acesso em: 10/12/2006.
- LAL, R. Managing world soils for food security and environmental quality. *Advances in Agronomy*, v. 74, p. 155-192, 2001.
- LEHMANN, J.; PETER, I.; STEGLICH, C.; GEBAUER, G., HUWE, B.; ZECH, W. Below-ground interactions in dryland agroforestry. *Forest Ecology and Management*, v.111,, p.157-169, 1998.

- LIMA, C.L.R.; SILVA, A.P.; IMHOFF, S.; LEÃO, T.P. Compressibilidade de um solo sob sistemas de pastejo rotacionado intensivo irrigado e não irrigado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 28, p.945-951, 2004.
- LIMA, M.A.; LUIZ, A.J.B.; VIEIRA, R.F. et al. Emissões de óxido nitroso (N₂O) proveniente de solos agrícolas. [Brasília, Brasil], 2006. Disponível em: <<http://mct.gov.br/clima>> Acesso em: 10/12/2006.
- LUDWIG, F.; KROON, H.; BERENDSE; PRINS, H.H.T. The influence of savanna trees on nutrient, water and light availability and the understorey vegetation. *Plant Ecology*, v.170, p.93-105, 2004.
- MACEDO, M.C.M. Pastagens no ecossistema Cerrados: pesquisas para o desenvolvimento sustentável. In: SIMPÓSIO SOBRE PASTAGENS NOS ECOSISTEMAS BRASILEIROS, n.32, 1995, Brasília. Anais... Brasília: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 1995. p.26.
- MARTELLO, L.S.; SAVASTANO JÚNIOR, H.; PINHEIRO, M.G.; ROMA JÚNIOR, L.C. Avaliação do microclima de instalações para gado de leite com diferentes recursos de climatização. *Engenharia Agrícola*, v.24, n.2, p.263-273, 2004.
- MATOS, L. Sistemas de produção de leite a pasto no Brasil In: *Produção de leite e sociedade: uma análise crítica da cadeia do leite no Brasil*. (Ed.) MADALENA, F.E., MATOS, L.L., HOLANDA JÚNIOR, E.V. Belo Horizonte: FEPMVZ, 2001, 159 - 177p.
- MONTAGNINI, F.; NAIR, P.K.R. Carbon sequestration: an underexploited environmental benefit of agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, v.61, p.281-295, 2004.
- NAIR, P.K.R. Classification of agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, v. 3, p.97-128, 1985.
- NAIR, P.K.R. Directions in tropical agroforestry research: past, present and future. *Agroforestry Systems*, v.38, p. 223-245, 1998.
- NICHOLSON, C.F.; BLAKE, R.W.; REID, R.S.; SCHELHAS, J. Environmental impacts of livestock in the developing world, *Environment*, v.43, n.2, p. 7-17, 2001.
- OLIVEIRA, P. P. A., TRIVELIN, P. C. O. e OLIVEIRA, W. S. Eficiência da fertilização nitrogenada com uréia (¹⁵N) em *Brachiaria brizantha* cv. Marandu associada ao parcelamento de superfosfato simples e cloreto de potássio. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, v.27, n.4, p. 613-620. 2003.
- RHOADES, C.C. Single-tree influence on soil properties in agroforestry: lessons from natural forest and savanna ecosystems. *Agroforestry Systems*, v. 35, p.71-94, 1997.
- PAGIOLA, S.; AGOSTINI, P., GOBBI, J. et al. Pago por servicios de conservación de la biodiversidad em paisajes agropecuários. (Paper, n.96). Washington, U.S.A.: Banco Mundial, 2004.
- PARIS, P.; PARIS, Q. Agriculture in the twenty-first century: agronomic and economic perspective. *Agricultura mediterranea*, v.126, p.113-148, 1996.
- PIMENTEL, D.; BERGER, B.; FILIBERTO, D.; NEWTON, M.; WOLFE, B.; KARABINAKIS, E.; CLARK, S.; POON, E.; ABBETT, E.; NANDAGOPAL, S. Water resources: agricultural and environmental issues. *Bioscience*, v.54, n. 10, p. 909 – 918.
- PRETTY, J.N.; MORISON, J.I.L.; HINE, R.E. reducing food poverty by increasing agricultural sustainability in developing countries. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v.95, p.217-234, 2003.
- ROBLEDO, W.I.H. *Pago de servicios ambientales para la implementación de sistemas agroforestales en áreas críticas de las cuencas generadoras de energía eléctrica María Linda y Los Esclavos, Guatemala*. 2003. 93f. Dissertação(Mestrado)- Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza; Turrialba, Costa Rica.
- SANCHEZ, P.A. Science in agroforestry. *Agroforestry Systems*. V.30, p. 5-55, 1995.
- SANCHEZ, P.A. Linking climate change research with food security and poverty

- reduction in the tropics. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v.82, p.371-383, 2000.
- SANGHA, K.K.; MIDMORE, D.J.; ROLFE, J.; JALOTA, R.K. Tradeoffs between pastures production and plant biodiversity and soil health attributes of pastures systems of central Queensland, Australia. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v.111, p.93-103, 2005.
- SCHOLES, R.J.; ARCHER, S.R. Tree-grass interactions in Savannas. *Annual reviews ecology systems*. v.28, p.517-544, 1997.
- SCHROEDER, P. Carbon storage benefits of agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, v.27, p.89-97, 1994.
- SCHWENDENMANN, L.; PENDALL, E. Effects of forest conversion into grassland on soil aggregate structure and carbon storage in Panama: evidence from soil carbon fractionation and stable isotopes. *Plant and soil*, v.288, 217-232, 2006.
- SHIVELY, G.E.; ZELEK, C.A.; MIDMORE, D.J.; NISSEN, T.M. Carbon sequestration in a tropical landscape: an economic model to measure its increment cost. *Agroforestry Systems*, v.60, 189-197, 2004.
- SHRESTHA, R.K.; ALAVALAPATI, J.R.R. Valuing environmental services of silvopasture practice: a case study of the Lake Okeechobee watershed in Florida. *Ecological Economics*, v.49, p.349-359, 2004.
- SILVA-PANDO, F.J.; GONZÁLEZ-HERNÁNDEZ, M.P.; ROZADOS-LORENZO, M.J. Pasture production in a silvopastoral system in relation with microclimate variables in the atlantic coast of Spain. *Agroforestry Systems*, v.56, p. 203-211, 2002.
- SINCLAIR, F.L. A general classification of agroforestry practice. *Agroforestry Systems*, v. 46, p. 161-180, 1999.
- SINGH, R.B. Environmental consequences of agricultural development: a case study from the Green Revolution state of Haryana, India. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v.82, p.97-103, 2000.
- SOUSA, L. F. Produtividade e valor nutritivo do Braquiarião (*Brachiaria brizantha* cv. Marandu) em sistemas silvipastoris. 2005. 68f. Dissertação (Mestrado em Nutrição Animal) – Escola de Veterinária – Universidade Federal de Minas Gerais: Belo Horizonte, MG, Brasil.
- STEINFELD, H.; GERBER, P.; WASSENAAR, T.; CASTEL, V., HAAN, C. Livestock's long shadow: environmental issues and options [Roma, Itália], 2006. Disponível em <<http://www.virtualcentre.org>> Acesso em 17/12/2006.
- STERN REVIEW: The economics of climate change [s.l.]: [s.n.], 2006 Disponível em <http://www.hm-treasury.gov.uk/independent_reviews/stern_review_economics_climate_change/stern_review_report.cfm> Acesso em 31/10/2006.
- TAYLOR, J. M. States act on climate change. *Science*, v.17, n.5, p.5-6, 2005.
- TUDGE, C. Into the woods. *Nature*, v.431, p.23, 2004.
- VIANA, V. M.; MAURÍCIO, R. M.; MATTAMACHADO, R. et al. Manejo de la regeneración natural de especies nativas para la formación de sistemas silvipastoriles en las zonas de bosques secos del sureste de Brasil. *Agroforestería de las Américas*, v. 9, n. 33-34, p. 48-52, 2002.
- WACKERNAGEL, M.; ONISTO, L.; BELLO, P.; LINARES, A.C.; FALFÁN, I.S.L.; GARCÍA, J.M.; GUERRERO, A.I.S.; GUERRERO, M.G.S. National natural capital accounting with the ecological footprint concept. *Ecological Economics*, v.29, p. 375-390, 1999.
- WOOD, R.; LENZEN, M.; DEY, C.; LUNDIE, S. A comparative study of some environmental impacts of conventional and organic farming in Australia. *Agriculture Systems*, p. 324-348, 2006.

CAPÍTULO II

Influência de um sistema silvipastoril, estabelecido no bioma Cerrado, nos atributos físicos do solo

Influence of a silvopastoral system located at Brazilian Savannah on soil physical parameters

RESUMO

Em áreas do bioma Cerrado, tem ocorrido a substituição das matas nativas por sistemas pecuários com baixa produtividade animal. A degradação da maioria das pastagens cultivadas no Cerrado pode ser atribuída, de maneira considerável, ao manejo inadequado durante a implantação e manutenção destas, como o uso insuficiente de fertilizantes e superpastejo. Devido à redução da fertilidade do solo, este fica mais exposto à medida que reduz-se a produtividade da forrageira, causando erosão e assoreamento de cursos de água e comprometendo a sustentabilidade dos recursos naturais. A manutenção de árvores nas pastagens, constituindo um sistema silvipastoril, seria uma alternativa para a manutenção da fertilidade natural pelo aporte contínuo de matéria orgânica e controle da erosão. Avaliou-se a contribuição das árvores na melhoria dos atributos físicos do solo em um sistema silvipastoril (SSP) em Lagoa Santa/MG, nas seguintes coordenadas 19° 35' 36" Sul, 43° 51' 56" Oeste; altitude 747m. O sistema, com densidade de 160 árvores ha⁻¹, foi desenvolvido em 1984, por meio de regeneração natural da espécie Ipê Felpudo (*Zeyheria tuberculosa* Vell. Bur) nativa do bioma Cerrado. A forragem do sistema foi a *Brachiaria brizantha* cv. Marandu (BBM). O tratamento controle foi uma pastagem adjacente ao SSP formada com esta mesma forragem, entretanto sem a influência de árvores. Durante o ano de 2005, foram realizadas, mensalmente, 12 coletas do material senescente, proveniente

da parte aérea das arbóreas, cuja composição foi analisada. As amostras de solos foram coletadas em fevereiro de 2006 em três profundidades: 0 - 10, 10 - 20 e 20 - 40 cm. A espécie arbórea do sistema estudado, nesta densidade, influenciou pouco os atributos avaliados. Há que ressaltar que o tratamento controle foi uma pastagem melhorada, em condições distintas de manejo da maioria das pastagens brasileiras. Ambos os tratamentos foram eficientes na manutenção dos atributos físicos do solo. Assim, há necessidade de mais estudos com outras espécies de árvores em condições distintas para avaliação dos seus efeitos sobre a estrutura física dos solos em sistemas silvipastoris, pois tratam-se de sistemas bastantes complexos e que não podem ser julgados apenas pelos atributos físicos isoladamente.

PALAVRAS CHAVE: árvores, degradação, desmatamento, pastagens, sustentabilidade.

ABSTRACT

In the Brazilian savanna original area, the native vegetation has been replaced by cattle grazing systems of low productivity. The degraded pastures in this area could be related to the inadequate management including use of fertilizers and overgrazing. The reduction of the soil fertility promotes the decreasing of forage productivity and is also linked to erosion due low soil cover that affects watershed and natural resources sustainability. The silvopastoral systems,

trees, forages and animals are considered an alternative for a sustainable animal production by continuous input of organic matter and consequently erosion control. Tree contribution to soil structural improvement was evaluated in a silvopastoral system (SPS) in Lagoa Santa, Minas Gerais State, Brazil, 19° 35' 36'' S, 43° 51' 56'' W; altitude 747m. This SPS was implemented in 1984 by natural regeneration of the native specie *Zeyheria tuberculosa* Vell. Bur with a density of 160 trees ha⁻¹. The systems forage was *Brachiaria brizantha* cv. Marandu (BBM). The control treatment was a SPS' adjacent pasture with the same forage but without trees influence. During the year of 2005, for every month, the material (leaves, fruits and stems) were collected and the bromatological and dry matter quantification were analyzed. The soil samples were collected in February 2006 at three deeps: 0 - 10, 10 - 20 and 20 - 40 cm. This tree, at this density, has not contributed considerably to the soil fertility in relation to the analyzed parameters. It is important to emphasize that the control treatment was a improved pasture, in distinct conditions of most of the Brazilian pastures. Both treatments were efficient in the structural soil maintenance. So, it is necessary to evaluate other trees species in distinct conditions like density, climate, topography and soil, because SPS are very complex systems and can not be evaluated by just soil physical parameters.

KEY WORDS: trees, deforestation, degradation, pastures, sustainability

1. INTRODUÇÃO

O desmatamento indiscriminado da região dos Cerrados tem causado sérios problemas como a perda de solos por erosão, poluição hídrica e atmosférica e perda de biodiversidade (Mantovani e Pereira, 1998). Originalmente, este bioma ocupa cerca de 200 milhões de hectares, 23% do território

brasileiro, 60% dos quais apresenta aptidão para agricultura, que assim como a pecuária tem contribuído para substituir o ecossistema natural (Longo et al., 1990). A vegetação típica deste bioma é classificada mundialmente como savana. Destaca-se pela grande heterogeneidade vegetal, ao apresentar formações florestais, savânicas e campestres e algumas árvores podem atingir de 15 a 18m (Andrade, 2002).

Os solos no Cerrado são normalmente pobres, ácidos, bem drenados, profundos e apresentam altos níveis de alumínio trocável (Ruggiero et al., 2002). Os latossolos representam cerca de 46% da área deste bioma, sobre os quais as pastagens cultivadas estão majoritariamente localizadas. O estado de um latossolo sob pastagem de cinco a sete anos, de baixa produtividade, geralmente se caracteriza pelos baixos a médios conteúdos de matéria orgânica. A estrutura do solo tende a estar modificada e observa-se uma perda da porosidade superficial até uma profundidade média de 0,5 m. Solos compactados e crostas na superfície limitam o volume das raízes e infiltração de água. Nestas pastagens, tende a ocorrer escoamento e erosão laminar. A diversidade e as biomassas da macrofauna de invertebrados do solo são alteradas, podendo ser reduzidas. Estes solos possuem uma estrutura de microagregados muito estável, por outro lado, a macroestrutura é pouco relevante e geralmente frágil. As densidades globais são observadas entre 0,8 e 1,2g cm⁻³ (Brassard e Barcellos, 2005).

Estima-se que 80% das pastagens cultivadas na área deste bioma encontra-se em algum estágio de degradação (Peron e Evangelista, 2004) refletindo em baixa produtividade. A densidade bovina média nesse ecossistema é inferior a uma unidade animal ha⁻¹. Tais índices indesejáveis têm como causa o manejo e práticas culturais inadequadas, durante a implantação e manutenção das pastagens, que levam à redução de

fertilidade do solo, como uso inadequado de fertilizantes e carga animal superior à capacidade de suporte. Como o solo fica mais exposto à medida que há perda de vigor e produtividade da cobertura vegetal, no caso a forrageira, há aumento da compactação do solo e redução de infiltração de água no solo, logo ocorrem erosão e assoreamento de cursos de água, comprometendo a sustentabilidade dos recursos naturais (Macedo, 1995). Apesar da baixa produtividade, os 49,6 milhões de hectares de pastagens cultivadas, formadas principalmente por gramíneas do gênero *Brachiaria*, comportam em torno de 41% do rebanho bovino nacional, responsável pela produção de mais da metade da carne bovina do país correspondendo a aproximadamente 10,5% da receita bruta agropecuária nacional (Martha Júnior e Vilela, 2002). Assim, além dos parâmetros produtivos estarem abaixo do potencial, ainda há impactos ambientais.

Para reverter esse cenário, uma opção viável seria a utilização de sistemas agrofloretais (SAF) pecuários ou sistemas silvipastoris (SSP), que consistem em uma combinação de árvores, culturas e animais numa tentativa de imitação dos ecossistemas naturais (Vilela, 2001). Mundialmente, estes sistemas têm se mostrado promissores para o aumento da produtividade em muitas regiões geográficas, ao promover a incorporação de nutrientes ao sistema, evitar a perda deles e melhorar as condições físicas do solo (Issac et al., 2005). As árvores proporcionam vários benefícios ao solo ao protegê-lo do impacto das gotas das chuvas e mantêm o teor de matéria orgânica, melhorando as qualidades físicas. Assim, apresenta menor densidade aparente, maior porosidade, menor resistência à penetração e maior estabilidade de agregados, em relação aos mesmos solos ocupados de forma convencional (Carvalho et al., 2004). Desta forma, ao se evitar a degradação das pastagens não haverá necessidade contínua de novos desmatamentos para a formação de

novos pastos a fim de alimentar o rebanho, se este continuar estável.

Este experimento teve como objetivo estudar a influência da arbórea Ipê Felpudo (*Zeyheria tuberculosa* Vell. Bur) sobre os atributos físicos de solo em um sistema silvipastoril no bioma Cerrado, tendo como referência uma monocultura de BBM.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Caracterização e localização dos sistemas

O experimento foi conduzido em um sistema silvipastoril localizado na fazenda Grota Funda nas seguintes coordenadas geográficas: 19° 35' 36'' Sul, 43° 51' 56'' Oeste; altitude 747m, correspondente ao bioma Cerrado do município de Lagoa Santa, no Estado de Minas Gerais, Brasil. O sistema foi desenvolvido em 1984 por meio de regeneração natural de árvores pioneiras, típicas do bioma Cerrado, da espécie Ipê Felpudo (*Zeyheria tuberculosa* Vell. Bur. - família: Bignoniaceae). Na técnica de roçada seletiva, procurava-se eliminar as espécies não desejadas e manter a espécie arbórea escolhida a distâncias mínimas de 4m. Atualmente, as árvores de Ipê medem aproximadamente entre 15 e 23 m de altura, DAP (diâmetro a altura do peito) de 40 a 60 cm. A densidade adotada foi de 160 árvores ha⁻¹. A escolha da espécie foi feita baseada nos seguintes preceitos: qualidades da madeira, velocidade de crescimento, arquitetura da copa, arquitetura do caule, presença no bioma ao qual pertence à propriedade e a resistência ao pastejo (Viana et al., 2002). Os solos da localidade são classificados como latossolo vermelho-amarelo e apresentam 651 g kg⁻¹ de argila, 211 g kg⁻¹ de silte e 138 g kg⁻¹ de areia.

A pastagem de BBM foi implantada em substituição a uma pastagem de capim Jaraguá (*Hiparrhenia rufa*), por meio de tração animal com uso de fosfato natural e calcário, estes em quantidades

recomendadas a partir de análise prévia dos solos. A área não foi queimada, e sempre foi utilizada como fonte de forragem para os animais. As sementes foram distribuídas manualmente entre as árvores (Viana et al., 2002). Um pasto adjacente ao sistema, implantado com a mesma metodologia, entretanto sem a presença de árvores, foi

utilizado como referência. A carga animal (bovinos), em ambas as pastagens, foi ajustada à produção forrageira. Os atributos químicos dos solos estudados em pastagens de BBM com e sem influência de presença da arbórea Ipê Felpudo estão representados na tabela 1.

Tabela 1 - Atributos químicos, em solo sob sistema silvipastoril (SSP) e monocultura (Lagoa Santa-2006)

Variável	Profundidade (cm)					
	Monocultura			SSP		
	0-10	10-20	20-40	0-10	10-20	20-40
pH (H ₂ O -1:2,5)	4,86±0,22	4,75±0,23	4,75±0,11	4,64±0,28	4,61±0,19	4,64±0,11
fósforo (mg dm ⁻³)	2,57±0,86	1,79±0,75	1,09±0,35	1,89±0,58	1,71±0,33	1,06±0,21
potássio (mg dm ⁻³)	135,87±35,69	70,13±14,72	42,5±17,46	95,63±36,90	82,5±30,26	49,37±35,84
cálcio (cmolc dm ⁻³)	0,67±0,31	0,39±0,19	0,23±0,07	0,76±0,27	0,6±0,17	0,27±0,14
magnésio (cmolc dm ⁻³)	0,59±0,36	0,27±0,24	0,13±0,07	0,56±0,21	0,41±0,13	0,12±0,05
alumínio (cmolc dm ⁻³)	1,74±0,55	2,31±0,33	2,5±0,17	1,71±0,50	1,96±0,28	2,35±0,21
H + Al (cmolc dm ⁻³)	9,5±1,56	10,11±1,41	10,05±0,46	8,9±1,58	8,99±1,11	9,31±0,73
soma de bases (cmolc dm ⁻³)	1,6±0,68	0,84±0,46	0,45±0,14	1,57±0,45	1,22±0,30	0,54±0,17
CTC efetiva (cmolc dm ⁻³)	3,34±0,27	3,13±0,18	2,96±0,09	3,29±0,11	3,17±0,17	2,86±0,15
CTC a pH 7,0 (cmolc dm ⁻³)	11,1±0,96	10,95±1,00	10,51±0,44	10,49±0,49	10,21±0,85	9,85±0,85
saturação por bases (%)	15±7	8±6	4±1	15±6	12±4	6±2

Hidrogênio + Alumínio (H + Al) e capacidade de troca catiônica (CTC)

2.2. Coleta dos dados

Foi realizada uma estimativa de produção qualitativa e quantitativa da liteira, material senescente, proveniente da parte aérea das arbóreas do Ipê Felpudo. Para este fim, foram utilizados quatro coletores (painéis de rede com malha 4 x 6 mm), distribuídos aleatoriamente na área sob influência das árvores. Cada coletor tinha uma área de 27 m² e ficava a 1,5 m de distância do solo. Durante o ano de 2005, foram realizadas doze coletas em intervalos de 30 dias.

A escolha dos pontos de coleta das amostras de solos, realizada em fevereiro de 2006, ocorreu conforme a seguinte metodologia: três linhas paralelas foram traçadas, de 40 m de comprimento cada, cortando o centro de cada sistema de forma diagonal. A primeira e terceira diagonais ficavam a 10 e a 20 m da linha central, respectivamente. Em cada linha, foram coletados três pontos distantes 20 m entre si, totalizando nove pontos de coletas no sistema silvipastoril e nove

pontos fora da sua área de influência, que foi utilizado como referência. Em quatro dos nove pontos, sendo três destes na diagonal central, foram coletadas, além das amostras para análise química, amostras indeformadas de solos em anéis volumétricos de 52,69 cm³ para estudo das propriedades físicas do solo, nas mesmas profundidades citadas anteriormente, totalizando 24 amostras. Nos cinco pontos restantes, coletou-se solo somente para análise química. Ressalta-se que, para todas as amostras, foi coletada a porção de solo compreendida no terço médio de cada profundidade. Os dados de pluviosidade foram fornecidos pela Estação Meteorológica do Aeroporto de Internacional Tancredo Neves, localizado no município vizinho de Confins, nas seguintes coordenadas geográficas: 19°54'32'' Sul e 43°58'18'' Oeste. No ano de 2005, a pluviosidade registrada foi de 1432 mm.

2.3. Análises laboratoriais

Após a coleta, a liteira foi classificada em folhas, galhos, frutos e outros (material não passível de separação), pré-seco em estufa de circulação forçada a 60 °C por 72 h e moído a um mm. A seguir, realizaram-se os seguintes procedimentos: determinação da matéria seca (MS), matéria mineral (MM) (Compêndio..., 1998). Os valores de cálcio, fósforo e potássio foram determinados utilizando-se as técnicas de permanganometria, colorimetria e fotometria de chama, respectivamente. O valor de matéria orgânica (MO) foi estimado como a diferença entre os valores de MS e MM e o valor de carbono (C) como 58% da MO (Nelson e Sommers, 1982). Os teores totais de nitrogênio foram determinados utilizando-se a metodologia de Kjeldahl (Cunniff, 1995) e os de lignina pela digestão do material pré-seco em ácido clorídrico a 72 % por três horas (Robertson e Van Soest, 1981). Estas análises ocorreram no laboratório de nutrição animal da Escola de Veterinária da UFMG. As análises químicas de solos foram analisadas no Laboratório de Análises de Solos da Universidade Federal

de Uberlândia/MG, conforme EMBRAPA (1999), e as análises físicas no Laboratório de Água e Solo da Universidade Federal de Viçosa/MG, conforme EMBRAPA (1997).

2.4. Análises estatísticas

Os dados foram analisados no delineamento inteiramente casualizado. Devido à heterogeneidade da variância de algumas variáveis, foi realizada a transformação da seguinte forma: (raiz + 1) para as concentrações de P e K da liteira. Os dados da liteira foram analisados por meio das estimativas de média, mínimo, máximo, desvio padrão e coeficiente de variação com o propósito de mostrar o padrão de comportamento das variáveis no sistema silvipastoril. Para solos, o arranjo foi em parcelas subdivididas, com sistema na parcela e profundidade na subparcela. Devido à heterogeneidade de variâncias de algumas variáveis, foi realizada a transformação logarítmica. Foram utilizados os testes de SNK ou de Fisher para comparar médias. A correlação de Pearson foi utilizada para análise das correlações entre variáveis químicas e físicas do solo.

3. RESULTADOS

As relações carbono/nitrogênio e lignina/nitrogênio da liteira foram, respectivamente, 31,10 e 25,16 e foram acrescentados ao sistema 4.191,00 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de MO (tabela 2).

Ao analisar os coeficientes de variação (CV) (tabela 3), pode-se afirmar que a precisão experimental foi adequada para todas as variáveis analisadas, sendo a microporosidade a resposta mais instável com CV igual a 33,43%. Apesar dos menores teores médios de matéria orgânica no solo da pastagem sob árvores, há tendência deste solo apresentar valores mais elevados da densidade das partículas e da densidade aparente e menores para porosidade e macroporosidade em relação ao solo da área de monocultura. Os teores de

matéria orgânica apresentaram interação entre profundidade e sistema (tabela 4). Em relação ao solo sob SSP, houve maiores teores de matéria orgânica nas camadas de 0-10 e 20-40 cm no solo sem influência de árvores. As camadas superficiais de ambos os sistemas tenderam a apresentar valores mais elevados de densidade de partículas e de densidade aparente. As variáveis físicas não apresentaram diferenças para sistema, profundidade e interação.

Todos os atributos químicos apresentados na tabela 5 apresentaram correlação significativa com densidade de partículas, sendo os valores mais elevados as correlações deste parâmetro físico com $S-SO_4^{-2}$, Ca /Mg, Fe e Mn. Todas as correlações com este parâmetro físico foram positivas exceto para pH, H + Al, MO e Ca + Mg / T. Em relação aos demais atributos químicos, só houve correlação positiva da microporosidade com K e $S-SO_4^{-2}$.

Tabela 2 - Contribuição anual da arbórea Ipê Felpudo (*Zeyheria tuberculosa* Vell. Bur.) para o solo, em macronutrientes e matéria orgânica, em um sistema silvipastoril no bioma Cerrado (Lagoa Santa/MG – 2005)

Variável	Composição média da liteira (%)	kg ha ⁻¹ ano ⁻¹
Matéria Seca total	100	4360,2
Matéria Mineral	3,88 ± 0,94	169,23
Matéria Orgânica	96,12 ± 0,94	4191,0
Carbono	55,74 ± 0,43	2430,78
Cálcio	0,61 ± 0,29	26,5
Fósforo	0,07 ± 0,04	3,2
Nitrogênio	1,79 ± 0,55	78,0
Potássio	0,90 ± 0,59	39,4
Lignina	45,04 ± 8,00	-
Carbono/Nitrogênio	31,10 ± 11,03	-
Lignina/Nitrogênio	25,16 ± 9,46	-

Tabela 3 – Médias para matéria orgânica e densidade aparente, densidade de partículas, porosidade, microporosidade e macroporosidade, em função de profundidade, em solo sob sistema silvipastoril (SSP) e monocultura (Lagoa Santa-2006)

Variável	Monocultura	SSP	CV (%)
Matéria Orgânica (%)	2,57 ± 0,96	2,03 ± 0,70	17,50
Densidade aparente (g cm ⁻³)	1,01 ± 0,13	1,10 ± 0,13	10,70
Densidade partículas (g cm ⁻³)	2,50 ± 0,09	2,85 ± 0,09	3,35
Porosidade (%)	59,30 ± 5,01	55,64 ± 5,49	7,96
Microporosidade (%)	22,87 ± 6,00	22,13 ± 7,38	33,43
Macroporosidade (%)	36,06 ± 4,16	33,51 ± 4,92	13,75

Médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste de Fisher (P<0,05)

Tabela 4 – Médias de teores de matéria orgânica e densidade aparente, densidade de partículas, porosidade, microporosidade e macroporosidade, em função de profundidade, em solo sob sistema silvipastoril (SSP) e monocultura (mono) (Lagoa Santa-2006)

Variável	Prof (cm)*	Sistema	
		Controle	SSP
Matéria Orgânica (%)	0-10	3,76±0,58 Aa	2,80±0,24 Ba
	10-20	2,60±0,40 Ab	2,36 ±0,23 Ab
	20-40	1,81±0,11 Ac	1,40 ± 0,17 Bc
Densidade aparente (g cm ⁻³)	0-10	1,15 ± 0,15	1,11 ± 0,11
	10-20	0,94 ± 0,09	1,11 ± 0,18
	20-40	0,95 ± 0,03	1,09 ± 0,13
Densidade partículas (g cm ⁻³)	0-10	2,55 ± 0,07	2,55 ± 0,08
	10-20	2,47 ± 0,07	2,42 ± 0,02
	20-40	2,49 ± 0,13	2,48 ± 0,11
Porosidade (%)	0-10	55,17 ± 5,67	56,71 ± 3,98
	10-20	61,01 ± 4,79	54,03 ± 7,41
	20-40	61,70 ± 1,59	56,18 ± 5,84
Microporosidade (%)	0-10	22,37 ± 6,90	22,86 ± 3,97
	10-20	21,65 ± 8,17	22,74 ± 12,34
	20-40	24,59 ± 3,35	20,79 ± 5,29
Macroporosidade (%)	0-10	32,80 ± 1,83	33,85 ± 1,39
	10-20	39,35 ± 4,05	31,29 ± 5,23
	20-40	36,03 ± 3,86	35,39 ± 6,93

Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas, diferem entre si pelo teste de SNK (P<0,05) *Amostras coletadas no terço médio

Tabela 5- Correlações de Pearson entre atributos químicos e físicos (Lagoa Santa/MG – 2006)

Atributos Químicos	Atributos Físicos				
	Densidade aparente	Densidade de partículas	Porosidade	Microporosidade	Macroporosidade
pH	-	-0,6101***	-	-	-
Fósforo	-	-	-	-	-
Potássio	-	0,6080***	-	0,3735*	-
Calico	-	-	-	-	-
Enxofre	-	0,6660***	-	0,3560*	-
Manganês	-	0,5480**	-	-	-
Alumínio	-	0,4930**	-	-	-
H+Al	-	-0,4488*	-	-	-
Soma de bases	-	-	-	-	-
CTC efetiva	-	0,5590**	-	-	-
CTC pH = 7,0	-	0,5132**	-	-	-
saturação por Al	-	0,5021**	-	-	-
matéria orgânica	-	-0,5464**	-	-	-
Ca / Mg	-	0,7302***	-	-	-
Mg / T	-	0,4927**	-	-	-
K / T	-	0,4773**	-	-	-
H+Al / T	-	0,6101***	-	-	-
Ca+Mg / T	-	-0,5144**	-	-	-
Ca+Mg+K/T	-	0,4881**	-	-	-
Boro	-	0,4920**	-	-	-
Cobre	-	0,5997***	-	-	-
Ferro	-	0,9363***	-	-	-
Manganês	-	0,6580***	-	-	-
Zinco	-	0,4859**	-	-	-

hidrogênio mais alumínio (H+Al), capacidade de troca catiônica (CTC), relação entre bases Ca / Mg, relação entre bases e T, Mg / T, K / T, H+Al / T, (Ca+Mg) / T, (Ca+Mg+K)/T -, ***, **, * (teste t: P>0,05; P<0,001; 0,01; 0,05, respectivamente)

4. DISCUSSÃO

No presente estudo, os valores de Ca^{+2} e V foram ligeiramente mais elevados no SSP em relação à monocultura, ao passo que o oposto ocorreu para os atributos pH, P, K, Al^{+3} (tabela 1). As árvores também contribuíram com $4191,00 \text{ kg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ de MO por meio da liteira (tabela 2). As árvores podem ser ferramentas importantes em relação à degradação das pastagens. De acordo com Buresh e Tian (1998), as árvores possuem o potencial de melhorar os solos

por meio de numerosos processos incluindo a manutenção ou aumento da matéria orgânica do solo, aumento da infiltração de água e redução da perda de nutrientes devido à erosão e lixiviamento, melhora das qualidades físicas do solo, redução da acidez do solo e melhora das atividades biológicas. Conforme Oliveira et al. (2003), em torno de 68 milhões de hectares das terras agrícolas do planeta estão em processo de degradação devido à compactação.

Além disto, a matéria orgânica desempenha um papel fundamental na fertilidade do solo

(Freitas et al., 2000) e na estabilidade dos agregados (Milne e Haynes, 2004). Solos com maior quantidade de agregados estáveis são mais resistentes a rachaduras, a compactação e favorecem a infiltração e armazenamento de água (Angers e Caron, 1998), a recuperação da fauna do solo, principalmente minhocas (Oades, 1984) e crescimento bacteriano que utilizam os compostos orgânicos de fácil degradação como fonte de energia (Xavier et al., 2006). Os teores de matéria orgânica são determinados tanto por mudanças climáticas quanto por mudanças no manejo, que afeta a estrutura do solo (Rawls et al., 2003). Em áreas desmatadas têm sido observados rápidas taxas de decomposição de matéria orgânica devido a elevadas temperaturas do solo e a umidade (Merino e Edeso, 1999).

Apesar da contribuição das arbóreas, neste experimento, os teores médios de matéria orgânica no solo da pastagem sob árvores foram mais reduzidos em relação à monocultura de BBM (tabela 4). Isto pode ser explicado pela menor produção de matéria seca da gramínea no SSP aferida por Sousa (2005). Este autor avaliou a produção de BBM no mesmo SSP do presente estudo e concluiu que as condições ambientais prevalentes no sub-bosque da *Zeyheria tuberculosa* contribuíram para reduzir significativamente ($P < 0,05$), em aproximadamente 15%, a produção de matéria seca (média de cinco cortes mensais durante o período chuvoso) da forrageira estudada.

De acordo com Oliveira et al. (2003) a biomassa do sistema radicular apresenta correlação positiva com a produção de forragem. Galvão et al. (2005) complementam que as gramíneas perenes presentes nas pastagens apresentam sistema radicular abundante, e, conforme Xavier et al. (2006), com alta taxa de renovação o que favorece a manutenção dos teores de matéria orgânica. Segundo Freitas et al. (2000), pastagens cultivadas e bem manejadas

podem manter o nível do estoque orgânico nas camadas superficiais equivalente ao estoque sob vegetação natural correspondente. Entretanto, nas pastagens degradadas pode ocorrer redução de 20% do estoque de C sob em relação à vegetação nativa.

Apesar dos maiores teores de matéria orgânica no solo do sistema sem árvores, não houve diferença entre os atributos físicos em relação tanto ao sistema quanto à profundidade (tabela 4). As gramíneas são consideradas como os mais eficientes melhoradores da estrutura do solo (Oades, 1984). Em geral, gramíneas têm uma ação mais rápida na estabilização do solo que as espécies lenhosas. Entretanto, as arbóreas contribuem mais para a estrutura do solo na camada de solo até 60 cm. Esta capacidade de agregação é proporcional ao diâmetro, biomassa, comprimento e número das raízes da arbórea, apesar das raízes finas poderem formar agregados, ao associar-se com microbiota e liberarem substâncias cimentantes (Angers e Caron, 1998).

No presente estudo, as árvores contribuíram com $4.360 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de matéria seca com elevado percentual de lignina (45,03%) (tabela 2) o que possivelmente influenciou nos atributos físicos avaliados, pois o alto teor de lignina interfere na decomposição por reduzir a velocidade com que os microrganismos do solo realizam este processo. Tiessen et al. (1984) destacam que adição ao solo de compostos fenólicos, cuja principal fonte é a lignina presente nas plantas, resulta em considerável aumento na estabilidade dos agregados. De acordo com Longo et al. (1990), a cobertura morta aumenta o percentual de agregados estáveis em água devido à sua proteção contra os impactos das gotas de água de chuva, bem como o ressecamento rápido do solo, servindo também como cimentante de partículas minerais, compondo a estrutura de agregados estáveis.

Assim, como o teor de lignina, a taxa C/N da liteira é um importante determinante na disponibilidade de nutrientes para o solo porque controla o processo de decomposição, imobilização e mineralização. Se esse valor for menor que 20 promove a mineralização do N no solo, favorecendo a nutrição vegetal (Budiadi et al., 2006). Na liteira analisada, o valor médio da relação C/N foi de 31,10 (tabela 2) o que pode indicar decomposição mais lenta de liteira que permanecerá mais tempo sobre o solo. De acordo com Rapp et al. (1999) e Dent et al. (2006), a disponibilidade de nutrientes no solo exerce efeito direto na quantidade e qualidade da liteira, pois, em solos mais pobres, as arbóreas são mais eficientes em utilizar os nutrientes, imobilizando-os mais intensamente nos tecidos perenes, produzindo liteira com maior relação C/N. Conforme Freitas et al. (2000), valores elevados da relação C/N do solo são características dos solos tropicais, que se não forem corrigidos para acidez, haverá redução da decomposição de MO com elevada relação C/N.

O crescimento das raízes aumenta os percentuais de agregados menores que 18mm de diâmetro, de carbono orgânico e a estabilidade de agregados em relação a um solo não plantado, talvez devido à quebra de agregados maiores pela penetração do sistema radicular. A densidade das raízes apresenta correlação com a distribuição do tamanho dos agregados (-0,85 para $P < 0,01$), com a estabilidade dos agregados (0,54 para $P < 0,01$) e com o carbono orgânico no solo (0,79 para $P < 0,05$). A alta correlação com o tamanho dos agregados indica que as raízes devem estar envolvidas diretamente ou indiretamente no processo de agregação e nas propriedades de agregação, que pode ocorrer por processos mecânicos, adição de substâncias orgânicas e associação com microrganismos (Materchera et al., 1994). A estabilidade de agregados é também o parâmetro que melhor correlaciona com a capacidade de erosão do solo (SÁ et al.,

2000). Solos bem agregados sempre contêm uma população substancial de macro e mesofauna, que é responsável pela porosidade. O cultivo regular e certos herbicidas reduzem a população de macrofauna (Oades, 1984).

As camadas superficiais de ambos os sistemas tenderam a apresentar valores mais elevados de densidade de partículas e de densidade aparente (tabela 4), resultado compatível com as informações de Bertol et al. (2000). De acordo com estes autores o pisoteio dos animais altera a densidade e a porosidade do solo, principalmente nos três a seis cm mais superficiais. Lima et al. (2004), esclarecem que os bovinos, por terem seu peso distribuído em uma área pequena, exercem elevadas pressões no solo, em torno de 350 a 400kpa, e estas podem dobrar quando estão em movimento. Outros fatores como as características do solo, como textura e umidade, intensidade, frequência e tipo de pastejo adotado também influenciam nas características físicas do solo. Bertol et al. (2000) acrescentam que a densidade do solo nas pastagens cultivadas diminui com a maior oferta de forragem, o que pode ser atribuída à menor pressão mecânica sobre o solo.

No presente estudo, os valores de densidade aparente (tabela 4) estiveram dentro do limite citado por Carvalho et al. (2004), de 1,1 a 1,2 g cm⁻³, que em latossolos causariam restrição ao desenvolvimento radicular. Estes autores informam que valores de densidade 0,7 e 1,0 g cm⁻³ seriam normais em latossolo. Entretanto, estes valores críticos de densidade de solo variam de acordo com o solo e não há consenso sobre um valor determinado. Carvalho et al. (2004), ao estudarem solos sob sistemas agrofloretais e sob sistemas convencionais encontraram densidades entre 0,84 e 0,97 g cm⁻³ para o primeiro tratamento e entre 1,15 e 1,21 g cm⁻³ para o segundo, o que refletiria os efeitos da incorporação de matéria orgânica ao solo. No experimento

atual, a densidade de partículas apresentou correlação com vários atributos químicos (tabela 5). Matéria orgânica e pH apresentaram correlação negativa com este parâmetro físico. De acordo com Albuquerque et al. (2003), ao reduzir acidez do solo, favorece o aumento da população microbiana, intensifica a decomposição da matéria orgânica. Assim, esta correlação negativa provavelmente ocorreu pelo fato do pH comprometer a atividade biológica dos microrganismos do solo reduzindo a decomposição da matéria orgânica e contribuir para elevar a densidade das partículas.

Alta densidade pode causar baixa porosidade e reduzir as taxas de infiltração de água (Merino e Edeso, 1999). A redução na porosidade na superfície do solo é parcialmente limitante ao desenvolvimento radicular homogêneo em todo o volume do solo, mas este fator agrava-se em virtude do manejo do gado (pisoteio e sobrepastejo) (Brassard e Barcellos, 2005).

O uso agrícola inadequado do solo pode causar mudanças na estrutura deste, tais como, rompimento dos agregados e compactação acentuada, que implica em redução da porosidade e da infiltração de água no solo, aumentando o acúmulo de água na superfície e causando erosão hídrica. Deste modo, há restrições ao crescimento radicular, reduzindo a exploração de água e nutrientes pelas culturas (Albuquerque et al., 2003). De acordo com Bertol et al. (2000), a liteira das árvores pode contribuir para o aumento da porosidade. Ao realizarem estudos em vários tipos de ocupação de solo, estes autores encontraram maiores valores de porosidade total na mata nativa, com 58,3%, na camada de 5-10 cm, que não sofria pisoteio e o menor valor, em pastagens com menor oferta de forragem: 40,7% na camada de 0-5 cm.

Os valores encontrados no presente estudo foram intermediários aos anteriormente

citados, variando de 54,03 a 61,70% (tabela 4), entretanto estiveram mais próximos aos valores da mata nativa, provavelmente devido à produção de liteira e por ocorrer subpastejo na pastagem. Akhter et al. (2004) constataram aumento nos valores de porosidade (de 36,7% para 42,2%) de um solo após cinco anos da introdução da gramínea *Kallar grass*. Carvalho et al., (2004) atribuíram à maior atividade biológica, os valores mais elevados de porosidade total dos solos em sistemas agroflorestais em relação aos dos solos sob sistemas convencionais.

Em relação aos macroagregados, o número deles pode ser aumentado pela adição de matéria orgânica. A melhor distribuição de matéria orgânica e mistura com colóides inorgânicos ocorre por meio de sistemas radiculares, principalmente os finos e extensos, como os das gramíneas. A estabilização dos macroagregados sob pastagens é máxima se os intervalos de pastejos são suficientes para permitir a recuperação do sistema radicular e proporcionar maior acréscimo de matéria orgânica ao solo. Solos cultivados com frequência e com pouca introdução de materiais orgânicos, a oxidação da matéria orgânica causará uma redução gradual do conteúdo de matéria orgânica o que leva a perda dos macroagregados e um aumento na dispersão da argila como resultado da oxidação de agentes “ligantes” (Oades, 1984). Apesar destes trabalhos relatarem aumento do número de macroagregados pela adição de matéria orgânica, no presente estudo, a correlação entre estas variáveis não foi significativa (tabela 5). Provavelmente, isto ocorreu devido à diferença da qualidade de matéria orgânica acrescentada pelas árvores, que possui maiores teores de lignina e maior relação C/N em relação à liteira produzida pela gramínea. Bertol et al. (2000) ao compararem a estrutura física do solo em mata nativa e em pastagens, encontraram maior volume de macroporos na primeira e atribuíram isto à grande quantidade de liteira

e pela ausência de pressão mecânica. Entretanto, as raízes da pastagem ocasionam grandes números de macroporos ao serem decompostas, influenciando na macroporosidade e na porosidade total, e, conseqüentemente na densidade, principalmente na camada superficial. Angers e Caron (1998) afirmaram que quanto maior a biomassa da planta, maior foi a área e o comprimento dos macroporos.

A distribuição do tamanho dos poros pode ser um indicador da taxa de difusão de oxigênio, do calor do solo, da capacidade de drenagem e armazenamento de água pelas plantas. Em termos de porosidade, os macroporos são os primeiros e os mais intensamente afetados pela pressão mecânica exercida sobre o solo que pode ser afetada pela redução dos valores de macroporos devido a altas pressões de pastejo. Considera-se o valor de 33% de macroporos em relação à porosidade total como ideal na distribuição de poros (Bertol et al., 2000). No experimento atual, os percentuais de macroporos variaram nos dois sistemas entre 31,29 a 39,35 (tabela 4), estando bem próxima do recomendado para o crescimento e o desenvolvimento satisfatório das plantas, podendo ser resultado da pressão de pastejo adequada e do acréscimo de matéria orgânica tanto pela BBM quanto pelas árvores.

Ao contrário dos macroporos, microagregados não são muito influenciados pelo manejo, entretanto o número destes aumenta lentamente ao se manter os teores de matéria orgânica (Oades, 1984). A estabilização de microagregados também é influenciada pelos microrganismos do solo (Longo et al, 1990). Entretanto, no presente estudo, não houve correlação significativa entre microporos e matéria orgânica, possivelmente pelo mesmo motivo da ausência de correlação entre matéria orgânica e este parâmetro físico, que só apresentou correlação significativa, dentre os atributos químicos, com K e $S-SO_4^{-2}$

(tabela 5). Jim (2003), realizando estudo semelhante, concluiu que houve alta correlação entre os teores de ferro livre e de óxidos de alumínio com a estabilização de microagregados.

5. CONCLUSÕES

A espécie arbórea do sistema estudado, nesta densidade, influenciou pouco os atributos físicos do solo em relação a uma pastagem melhorada. Ambos os tratamentos foram eficientes na manutenção dos atributos físicos do solo. Assim, há necessidade de mais estudos com outras espécies de árvores em condições distintas, como consórcio entre espécies arbóreas e densidades distintas, para avaliação dos seus efeitos sobre a estrutura física dos solos em sistemas silvipastoris, pois tratam-se de sistemas bastantes complexos e que não podem ser julgados apenas por um aspecto isoladamente.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; ERNANI, P.R.; MAFRA, A.L.; FONTANA, E.C. Aplicação de calcário e fósforo e estabilidade da estrutura de um solo ácido. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, p.799-806, 2003.
- ANDRADE, L.A.Z.; FELFILI, J.M.; VIOLATTI, L. Fitossociologia de uma área de Cerrado denso na RECOR-IBGE, Brasília – DF, *Acta Botânica Brasílica*, v.16, n.2, 225-240, 2002.
- ANGERS, D.A.; CARON, D.A. Plant-induced changes in soil structure: processes and feedbacks. *Biochemistry*, v.42, p.55-72, 1998.
- AKHTER, J.; MURRAY, K.; MALIK, K.A.; AHMED, S. Improvement of degraded physical properties of a saline –sodic soil by reclamation with kallar grass (*Leptochloa fusca*). *Plant and Soil*, v.258, p.207-216, 2004.
- BERTOL, I.; ALMEIDA, J.A.; ALMEIDA, E.X.; KURTZ, C. Propriedades físicas do solo relacionadas a diferentes níveis de oferta de forragem de capim-elefante-anão cv. Mott.

Pesquisa agropecuária brasileira, v.35, n.5, p. 1047-1054, 2000.

BRASSARD, M.; BARCELLOS, A.O. Conversão do Cerrado em pastagens cultivadas e funcionamento de latossolos. *Cadernos de Ciência e tecnologia*, v.22, n.1, p. 153-168, 2005.

BUDIADI; ISHII, H.T.; SABARNURDIN, M.S.; SURYANTO, P.; KANAZAWA, Y. Biomass cycling and soil properties in na agroforestry-based plantation system of *kayu putih* (*Melaleuca leucadendron* LINN) in East Java, Indonesia. *Agroforestry Systems*, v. 67, p.135-145, 2006.

BURESH, R.J.; TIAN, G. Soil improvement by trees in sub-Saharan Africa. *Agroforestry Systems*, v.38, p.51-76, 1998.

CARVALHO, R.; GOEDERT, W.J.; ARMANDO, M.S., Atributos físicos da qualidade de um solo sob sistema agroflorestal. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.39, n.11, p.1153-1155, 2004.

COMPÊNDIO brasileiro de alimentação animal: métodos analíticos . Brasília: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1998. 199p.

CUNNIFF, P. *Official methods of analysis of AOAC International*. 16.ed. Arlington: AOAC International, 1995. 1016p.

DENT, D.H.; BAGCHI, R.; ROBINSON, R.; MAJALAP-LEE, N.; BURSLEM, D.F.R.P. Nutrient fluxes via litterfall and leaf litter decomposition vary across a gradient of soil nutrient supply in a lowland tropical rainforest. *Plant and Soil*, v.288, p. 197-215, 2006.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. - Brasília, Embrapa

produção de Informação; Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 1999. 412 p.

FREITAS, P.L.; BLANCANEUX, P.; GAVINELLI, E.; LARRÉ-LARROY, M.C.; FELLER, C. Nível e natureza do estoque orgânico de latossolos sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Pesquisa agropecuária brasileira*, v.35, n.1, p.157-170, 2000.

GALVÃO, S.R.S.; SALCEDO, I.H.; SANTOS, A.C. Frações de carbono e nitrogênio em função da textura, do relevo e do uso do solo na microbacia do agreste em vaca brava. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 29, p.955-962, 2005.

ISSAC, M.E.; GORDON, A.M.; THEVATHASAN, N.; OPPONG, S.K.; QUASHIE-SAM, J. Temporal changes in soil carbon and nitrogen in west African multistrata agroforestry systems: a consequence of pools and fluxes. *Agroforestry Systems*, v.65, p. 23-31, 2005.

JIM, C.Y. Conservation of soils in culturally protected woodlands in rural Hong Kong. *Forestry Ecology and Management*, v.175, p. 339-353, 2003.

LIMA, C.L.R.; SILVA, A.P.; IMHOFF, S.; LEÃO, T.P. Compressibilidade de um solo sob sistemas de pastejo rotacionado intensivo irrigado e não irrigado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 28, p.945-951, 2004.

LONGO, R. M; ESPÍNDOLA, C. R.; RIBEIRO, A. I. Modificações na estabilidade de agregados no solo decorrentes da introdução de pastagens em áreas de Cerrado e floresta Amazônica. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.3, n.3, p. 276-280, 1990.

MACEDO, M.C.M. Pastagens no ecossistema Cerrados: pesquisas para o desenvolvimento sustentável. In: SIMPÓSIO SOBRE PASTAGENS NOS ECOSSISTEMAS BRASILEIROS, n.32, 1995, Brasília. Anais... Brasília: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 1995. p.26.

MANTOVANI, J.E.; PEREIRA, A. Estimativa da cobertura vegetal de Cerrado através de dados Tm/Lansat. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 9, 1998, Santos, Brasil. *Anais...*, Santos: INPE, 1998, p.1455-1466.

- MATERECHERA, S. A.; KIRBY, J. M.; ALSTON, A. M.; DEXTER, A. R. Modification of soil aggregation by watering regime and roots growing through beds of large aggregates. *Plant and Soil*, v.160, p.57-66, 1994.
- MARTHA JÚNIOR, G.B.; VILELA, L. *Pastagens no Cerrado: baixa produtividade pelo uso de fertilizantes*. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2002. 32p.
- MERINO, A.; EDESO, J. M. Soil rehabilitation in young *Pinus radiata* D. Don. Plantations from northern Spain after intensive site preparation. *Forestry Ecology and Management*, v. 116, p. 83-91, 1999.
- MILNE, R. M.; HAYNES, R. J. Soil organic matter, microbial properties, and aggregate stability under annual and perennial pastures. *Biological fertil soils*, v.39, p.172-178, 2004.
- NELSON, S.W.; SOMMERS, L.E. Total Carbon, Organic Carbon and Organic Matter. IN: Page, A.L.; Miller, R.H. & Keeney, D.R. (eds). *Methods of soil analysis*. 2 ed. Madison: American Society of Agronomy, 1982. v.2, p.535-579.
- OADES, J. M. Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. *Plant and Soil*, v. 76, p. 319-337, 1984.
- OLIVEIRA, P. P. A., TRIVELIN, P. C. O. e OLIVEIRA, W. S. Eficiência da fertilização nitrogenada com uréia (¹⁵N) em *Brachiaria brizantha* cv. Marandu associada ao parcelamento de superfosfato simples e cloreto de potássio. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, v.27, n.4, p. 613-620. 2003.
- PERON, A.J.; EVANGELISTA, A.R. Degradação de pastagens em região de Cerrado. *Ciência agrotécnica*, v. 28, n.3, p. 655-661, 2004.
- RAPP, M.; REGINA, I.S.; RICO, M.; GALLEGO, H.A. Biomass, nutrient content, litterfall and nutrient return to the soil in Mediterranean oak forests. *Forest Ecology and Management*, v.119, p. 39-49, 1999.
- RAWLS, W. J.; PACHEPSKY, Y. A.; RITCHIE, J. C.; SOBECKI, T. M.; BLOODWORTH, H. Effect of soil organic carbon on soil water retention. *Geoderma*, v.116, p.61-76, 2003.
- RIGATTO, P. A.; DEDECEK, R. A.; MATTOS, J. L. M. Influência dos atributos do solo sobre a produtividade de *Pinus taeda*. *Revista Árvore*, v.29, n.5, p.701-709, 2005.
- ROBERTSON, J.B., VAN SOEST, P.J. The detergent system of analysis and its application to human foods. In: JAMES, W. P. T., THEANDER, O. (Ed.) *The analysis of dietary fiber in food*. New York: Marcel Dekter, 1982. p. 123-158.
- RUGGIERO, P.G.C.; BATALHA, M.A.; PIVELLO, V.R.; MEIRELLES, S.T. Soil-vegetation relationships in Cerrado (Brazilian savanna) and semideciduous forest, Southeastern Brazil. *Plant Ecology*, v.160, p. 1-16, 2002.
- SÁ, M. A. C.; LIMA, J. M.; SILVA, M. L. N.; DIAS JÚNIOR, M. S. Comparação entre métodos para o estudo da estabilidade de agregados em solos. *Pesquisa agropecuária brasileira*, v.35, n. 9, p. 1825-1834, 2000.
- SOUSA, L. F. Produtividade e valor nutritivo do Braquiaraão (*Brachiaria brizantha* cv. Marandu) em sistemas silvipastoris. 2005. 68f. Dissertação (Mestrado em Nutrição Animal) – Escola de Veterinária – Universidade Federal de Minas Gerais: Belo Horizonte, MG, Brasil.
- TIESSEN, H.; STEWART, J. W. B.; HUNT, H. W. Concepts of soil organic matter transformations in relation to organo-mineral particle size fractions. *Plant and Soil*, v.76, p. 287-295, 1984.
- XAVIER, F. A. S.; MAIA, S. M. F.; OLIVEIRA, T. S.; MENDONÇA, E. S. Biomassa microbiana e matéria orgânica leve em solos sob sistemas agrícolas orgânico e convencional na chapada da Ibiapaba. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 30, p.247-258, 2006.

CAPÍTULO III

Influência de um sistema silvipastoril, estabelecido no bioma Cerrado, na ciclagem de nutrientes e nos atributos químicos do solo

Influence of a silvopastoral system located at Brazilian Savannah on nutrient cycling and soil chemical parameters

RESUMO

Avaliou-se a contribuição das árvores sobre os atributos químicos do solo em um sistema silvipastoril (SSP) em Lagoa Santa/MG. O sistema, com densidade de 160 árvores ha⁻¹, foi desenvolvido em 1984, por meio de regeneração natural da espécie Ipê Felpudo (*Zeyheria tuberculosa* Vell. Bur) nativa do bioma Cerrado. A forragem do sistema foi a *Brachiaria brizantha* cv. Marandu (BBM). O tratamento controle foi uma pastagem adjacente ao SSP formada com esta mesma forragem, entretanto sem a influência de árvores. Durante o ano de 2005, foram realizadas, mensalmente, 12 coletas do material senescente, proveniente da parte aérea das arbóreas, cuja composição foi analisada. As amostras de solos foram coletadas em fevereiro de 2006 em cinco profundidades: 0 – 2, 2 - 10, 10 - 20, 20 - 40 e 40 - 100 cm. Constatou-se o potencial das árvores de contribuir, por meio da liteira, com a manutenção da fertilidade do solo, principalmente em relação a N, K e Ca. Os teores de MO (matéria orgânica) e K reduziram à medida que aumentou a profundidade. A espécie arbórea do sistema estudado, nesta densidade, influenciou a fertilidade do solo em relação às variáveis ligadas a acidez do solo, tais como aumento de Mg⁺² e V (saturação por bases) e redução de Al no sistema. As árvores também contribuíram para a fertilidade do solo por meio dos aumentos dos valores de pH, Ca⁺² e t (capacidade de troca catiônica efetiva) e redução da relação H+Al / T, sendo T a capacidade de troca catiônica em pH 7,0, entretanto estes benefícios ocorreram

somente na camada mais superficial, indicando a formação lenta do solo. A espécie arbórea do sistema estudado, nesta densidade, influenciou pouco a fertilidade do solo em relação aos macronutrientes N, P e K. Isto pode ter ocorrido em razão das altas relações C/N e lignina/N, em relação às variáveis avaliadas. A manutenção da fertilidade do solo, seja por meio das arbóreas ou fertilização química, associado ao ajuste da carga animal são ferramentas úteis para prevenção da degradação das pastagens e o desmatamento de novas áreas para atividades pecuárias. Entretanto, há necessidade de mais estudos avaliando a influência de outras espécies de árvores em condições distintas, como densidade e consórcio de espécies arbóreas, sobre a fertilidade dos solos em SSP.

PALAVRAS CHAVE: árvores, degradação, desmatamento, pastagens, produtividade, sustentabilidade

ABSTRACT

The contribution of the trees to soil fertility in a silvopastoral system (SPS) in Lagoa Santa, Minas Gerais State, Brazil, 19° 35' 36'' S, 43° 51' 56'' W; altitude 747m, was evaluated. The SPS was developed since 1984 by use of natural regeneration of the native specie; *Zeyheria tuberculosa* Vell. Bur., with a density of 160 trees ha⁻¹. The systems forage was *Brachiaria brizantha* cv. Marandu (BBM). The control treatment was a SPS' adjacent pasture with the same forage but without trees influence. During the year of 2005 the material (leaves, fruits and

stems) were collected monthly and the bromatological and dry matter quantification were analyzed. The soil samples were collected in February 2006 at five depths: 0–2, 2–10, 10–20, 20–40 and 40–100 cm. The results demonstrated that trees contributed for soil fertility by supply, through litterfall, of N, K and Ca mainly. The organic matter (OM) and potassium (K) reduced with depth. This tree species, at this density contributed mainly with soil fertility in relation to soil acidity parameters, as high pH, calcium (Ca^{+2}), magnesium (Mg^{+2}), bases saturation (V) values and low aluminum (Al) amount, in the 0–2 cm layer and / or in the system at all. This tree, at this density, has not contributed considerably to the soil fertility in relation to the N, P and K. This can be related to the high C/N and lignin/N ratios. Soil fertility improvements should be also followed by correct pasture management where the stock ration is considered to reduce the pasture degradation and consequently reduction on the deforestation of new areas. So, it is necessary to evaluate other trees species in distinct conditions like density, climate, topography and soil, because the SPS are very complex systems and can not be evaluated by just one parameter.

KEY WORDS: deforestation, degradation, pastures, sustainability

1. INTRODUÇÃO

A área original do Cerrado brasileiro corresponde a cerca de 200 milhões de hectares, 23% do território brasileiro, 60% dos quais apresenta aptidão para agricultura, que assim como a pecuária tem substituído o ecossistema natural (Longo et al., 1990). A vegetação típica deste bioma é classificada mundialmente como savana. Destaca-se pela grande heterogeneidade vegetal, ao apresentar formações florestais, savânicas e campestres e algumas árvores podem atingir de 15 a 18m. É considerada a flora mais rica

entre as savanas mundiais ao contribuir com cerca de cinco e 33%, respectivamente, da diversidade da fauna e flora mundiais e brasileira (Andrade, 2002a).

Os solos no Cerrado são normalmente pobres, ácidos, bem drenados, profundos e apresentam altos níveis de alumínio trocável (Ruggiero et al., 2002). Os solos classificados como latossolo representam cerca de 46% da área deste bioma, sobre os quais as pastagens cultivadas estão majoritariamente localizadas. O estado deste tipo de solo sob pastagem de cinco a sete anos, de baixa produtividade, se caracteriza por baixo a médio nível de matéria orgânica e pela baixa disponibilidade de íons fosfato (Brassard e Barcellos, 2005).

Neste bioma, há aproximadamente 49,6 milhões de hectares de pastagens cultivadas, formadas principalmente por gramíneas do gênero *Brachiaria*, que comporta em torno de 41% do rebanho bovino nacional, responsável pela produção de mais da metade da carne bovina do país correspondendo a aproximadamente 10,5% da receita bruta agropecuária nacional (Martha Júnior e Vilela, 2002). Entretanto, estima-se que 80% destas pastagens encontram-se em algum estágio de degradação (Peron e Evangelista, 2004) refletindo em baixa produtividade; a densidade bovina é inferior a uma unidade animal ha^{-1} . Tais índices indesejáveis têm como causa o manejo e práticas culturais inadequadas, durante a implantação e manutenção das pastagens, que levam à redução de fertilidade do solo, como uso inadequado de fertilizantes e carga animal superior à capacidade de suporte. Como o solo fica mais exposto à medida que há perda de vigor e produtividade da cobertura vegetal, no caso a forrageira, há aumento da compactação do solo e redução de infiltração de água no solo, logo ocorrem erosão e assoreamento de cursos de água, comprometendo a sustentabilidade dos recursos naturais (Macedo, 1995). Portanto,

os impactos da degradação extrapolam os parâmetros produtivos normalmente analisados.

À medida que reduz a disponibilidade de novas áreas a serem exploradas pela agropecuária torna-se essencial melhorar os sistemas produtivos visando a sustentabilidade das pastagens (Brassard e Barcellos, 2005). Para reverter esse cenário, uma opção viável é a utilização de sistemas agroflorestais (SAF) pecuários ou sistemas silvipastoris (SSP), que consistem em uma combinação de árvores, culturas e animais numa tentativa de imitação dos ecossistemas naturais. A manutenção de árvores, tanto no campo agrícola, como no pastoril, constitui uma contribuição para manter a fertilidade natural pelo aporte contínuo de matéria orgânica e controle da erosão (Vilela, 2001), além de diversificar as fontes de renda do produtor (Arato et al., 2003). Assim, ao se evitar a degradação das pastagens não há necessidade contínua de desmatamentos para a formação de novas áreas a fim de alimentar o rebanho, se este continuar estável.

Um projeto de revitalização de área degradada pode ser avaliado por meio de indicadores de recuperação, que são parâmetros úteis para as tomadas de decisões como novas interferências ou redirecionamento do plano original. Um dos indicadores recomendados tem sido a produtividade da serrapilheira (Arato et al., 2003), uma manta formada pelo acúmulo de matéria orgânica como folhas e pequenos ramos que caem das árvores, conhecido também como liteira, que além de conferir uma proteção adicional contra a erosão hídrica do solo, reduz ou impede o escoamento superficial da água. Inicialmente, sua importância foi percebida na ciclagem de nutrientes ao constatar-se diminuição gradual da produtividade da floresta de coníferas ao se remover constantemente a serrapilheira para ser usada na cama de animais (Andrade et al.,

2003). Outros indicadores da qualidade do solo são o conteúdo de matéria orgânica e o nível de atividade biológica (Carvalho et al., 2004).

Este experimento teve como objetivo estudar a influência da arbórea *Zeyheria tuberculosa* Vell. Bur. Na ciclagem de nutrientes e nos atributos químicos do solo em um SSP no bioma Cerrado.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Caracterização e localização dos sistemas

O experimento foi conduzido em um sistema silvipastoril localizado na fazenda Grota Funda nas seguintes coordenadas geográficas: 19° 35' 36'' Sul, 43° 51' 56'' Oeste; altitude 747m, correspondente ao bioma Cerrado do município de Lagoa Santa, no Estado de Minas Gerais, Brasil. O sistema foi desenvolvido em 1984 por meio de regeneração natural de árvores pioneiras, típicas do bioma Cerrado, da espécie Ipê Felpudo (*Zeyheria tuberculosa* Vell. Bur. - família: Bignoniaceae). Na técnica de roçada seletiva, procurava-se eliminar as espécies não desejadas e manter a espécie arbórea escolhida a distâncias mínimas de 4m. Atualmente, as árvores de Ipê medem aproximadamente entre 15 e 23 m de altura, DAP (diâmetro a altura do peito) de 40 a 60 cm. A densidade adotada foi de 160 árvores ha⁻¹. A escolha da espécie foi feita baseada nos seguintes preceitos: qualidades da madeira, velocidade de crescimento, arquitetura da copa, arquitetura do caule, presença no bioma ao qual pertence à propriedade e a resistência ao pastejo (Viana et al., 2002). Os solos da localidade são classificados como latossolo vermelho-amarelo e apresentam 651 g kg⁻¹ de argila, 211 g kg⁻¹ de silte e 138 g kg⁻¹ de areia.

A pastagem de BBM foi implantada em substituição a uma pastagem de capim Jaraguá (*Hiparrhenia rufa*), por meio de

tração animal com uso de fosfato natural e calcário, estes em quantidades recomendadas a partir de análise prévia dos solos. A área não foi queimada, e sempre foi utilizada como fonte de forragem para os animais. As sementes foram distribuídas manualmente entre as árvores (Viana et al., 2002). Um pasto adjacente ao sistema, implantado com a mesma metodologia, entretanto sem a presença de árvores, foi utilizado como referência. A carga animal (bovinos), em ambas as pastagens, foi ajustada à produção forrageira.

2.2. Coleta dos dados

Com o intuito de estudar a ciclagem de nutrientes que ocorre durante um ano no SSP, foi realizada uma estimativa de produção anual da liteira, ou seja, material senescente, proveniente da parte aérea das arbóreas do Ipê Felpudo. Para este fim, foram utilizados quatro coletores (painéis de rede, com malha de 4 x 6 mm), distribuídos aleatoriamente na área sob influência das árvores. Cada coletor tinha uma área de 27 m² e ficava a 1,5 m de distância do solo. Durante o ano de 2005, foram realizadas doze coletas em intervalos de 30 dias, que foram agrupadas para análise estatística de acordo com a estação do ano: verão (dezembro a fevereiro), outono (março a maio), inverno (junho a agosto) e primavera (setembro a novembro).

A escolha dos pontos de coleta das amostras de solos, realizada em fevereiro de 2006, ocorreu conforme a seguinte metodologia: três linhas paralelas foram traçadas, de 40 m de comprimento cada, cortando o centro de cada sistema de forma diagonal. A primeira e terceira diagonais ficavam a 10 e a 20 m da linha central, respectivamente. Em cada linha, foram coletados três pontos distantes 20 m entre si, totalizando nove pontos de coletas no sistema silvipastoril e nove pontos fora da sua área de influência, que foi o tratamento controle. Foram coletadas amostras de solos nas seguintes profundidades: 0 - 2, 2 - 10, 10 - 20, 20 - 40

e 40 - 100 cm. Para a última profundidade foram coletadas quatro amostras por sistema. Exceto na profundidade de 0-2 cm, as amostras foram coletadas no terço médio por meio do trado holandês. Os dados de pluviosidade foram fornecidos pela Estação Meteorológica do Aeroporto de Internacional Tancredo Neves, localizado no município vizinho de Confins, nas seguintes coordenadas geográficas: 19°54'32'' Sul e 43°58'18'' Oeste.

2.3. Análises laboratoriais

Após a coleta, a liteira foi classificada em folhas, galhos, frutos e outros (material não passível de separação), pré-seco em estufa de circulação forçada a 60 °C por 72 h e moído a um mm. A seguir, realizaram-se os seguintes procedimentos: determinação da matéria seca (MS), matéria mineral (MM) (Compêndio..., 1998). Os valores de cálcio, fósforo e potássio foram determinados utilizando-se as técnicas de permanganometria, colorimetria e fotometria de chama, respectivamente. O valor de matéria orgânica (MO) foi estimado como a diferença entre os valores de MS e MM e o valor de carbono (C) como 58% da MO (Nelson e Sommers, 1982). Os teores totais de nitrogênio foram determinados utilizando-se a metodologia de Kjeldahl (Cunniff, 1995) e os de lignina pela digestão do material pré-seco em ácido clorídrico a 72 % por três horas Robertson & Van Soest (1981). Estas análises ocorreram no Laboratório de Nutrição Animal da Escola de Veterinária da UFMG. As amostras de solos foram analisadas no Laboratório de Análises de Solos da Universidade Federal de Uberlândia/MG, conforme EMBRAPA (1999).

2.4. Análises estatísticas

Os dados foram analisados no delineamento inteiramente casualizado. Devido à heterogeneidade da variância de algumas variáveis, foi realizada a transformação da

seguinte forma: $(raiz + 1)$ para as concentrações de P e K da liteira. Os dados da liteira foram analisados por meio das estimativas de média, mínimo, máximo, desvio padrão, coeficiente de variação e gráfico de perfil com o propósito de mostrar o padrão de comportamento das variáveis no sistema silvipastoril. A comparação entre médias dos tratamentos foi realizada pelo teste de SNK ($P < 0,05$). O arranjo foi em parcelas subdivididas, com tecido vegetal (folhas, galhos, frutos e outros) na parcela e estação na subparcela.

Para solos, o arranjo foi em parcelas subdivididas, com sistema na parcela e profundidade na subparcela. Devido à heterogeneidade de variâncias de algumas variáveis, foi realizada a transformação logarítmica. Foram utilizados os testes de SNK ou de Fisher para comparar médias.

3. RESULTADOS

Em torno de 61% da liteira foi recolhida durante o inverno e 24% durante a primavera (figura 1).

Portanto, aproximadamente 85% foi produzido entre os meses de junho a novembro, que corresponde ao período de menor pluviosidade, 372 mm, correspondendo a 25,9% dos 1432 mm registrados no ano de 2005. Exceto no verão, quando os galhos foram os componentes predominantes no material senescente, nas outras estações as folhas foram responsáveis pela formação de mais da metade da liteira atingindo o máximo de contribuição durante o inverno, 74% do total.

De modo geral, verifica-se que os níveis de N, Ca e matéria mineral (MM) foram maiores ($P < 0,05$) nas folhas (tabela 1). Os teores de K foram estatisticamente mais elevados nos frutos. O teor de lignina também foi mais significativo neste tecido, principalmente durante o inverno. Para a variável lignina/N, não foi verificada interação entre tecidos e estação. Os valores mais altos foram os dos galhos e não houve diferença da composição ao longo do ano. Em relação ao P, nas folhas não diferiu ao longo do ano e apresentou diferenças apenas no inverno, quando foi menor nos frutos e maior nos galhos. MM foi maior ($P < 0,05$) no inverno/primavera em qualquer tecido.

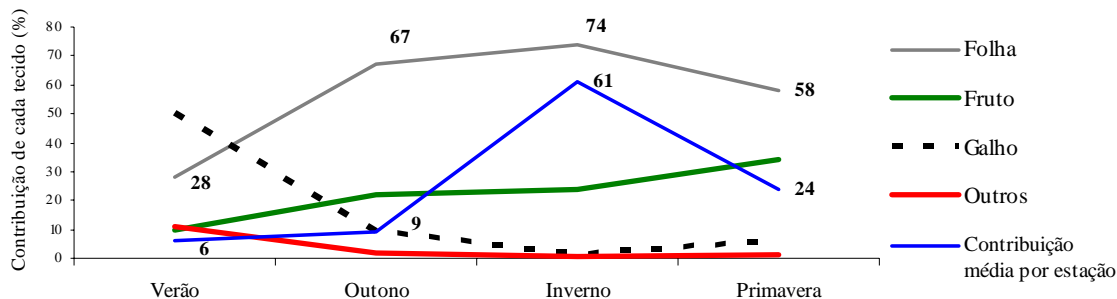


Figura 1 - Perfil de contribuição do Ipê Felpudo em material senescente para o solo (Lagoa Santa/MG - 2005)

Tabela 1- Composição média dos tecidos vegetais de acordo com a estação do ano em um sistema silvipastoril no bioma Cerrado (Lagoa Santa/MG – 2005)

Variável	Tecido	Estação			
		Verão	Outono	Inverno	Primavera
Nitrogênio (%)	Folhas	2,23 Aa	1,95 Aa	1,70Aa	2,20 Aa
	Frutos	1,95 Ab	2,08 Aa	1,14Bb	1,53 ABb
	Galhos	1,13 Bb	1,45 ABa	2,27Aa	1,55 ABb
	Outros	2,32 Aa	2,03 Aa	2,10 Aa	2,27 Aa
Fósforo (%)	Folhas	0,07Aa	0,05 Aab	0,06 Ab	0,08 Aa
	Frutos	0,09 Aa	0,10 Aa	0,05 Bb	0,06 Aa
	Galhos	0,03 Ba	0,03 Bb	0,16 Aa	0,06 Ba
	Outros	0,09 Aa	0,06 Aab	0,08 Ab	0,11 Aa
Potássio (%)	Folhas	0,84 Ab	0,69 Ab	1,10 Ab	0,89 Ab
	Frutos	1,34 Aa	1,72 Aa	1,73 Aa	1,73 Aa
	Galhos	0,32 Ac	0,07 Ac	0,32 Ac	0,17 Ac
	Outros	0,72 Ab	0,43 Ab	0,69 Ab	0,83 Ab
Cálcio (%)	Folhas	0,73 Aa	1,00 Aa	0,99 Aa	0,78 Aa
	Frutos	0,25 Ac	0,29 Ac	0,19 Ac	0,19 A c
	Galhos	0,75 Aa	0,80 Ab	0,71 Ab	0,88 Aa
	Outros	0,48 Bb	0,69 Ab	0,66 Ab	0,49 Bb
Lignina (%)	Folhas	48,59 Aa	47,86 ABa	45,51 Ba	45,64 Ba
	Frutos	47,00 Ab	42,55 ABb	28,72 Bb	40,25 Bab
	Galhos	51,84 Aa	44,57 ABa	46,15 Ba	37,75 Bb
	Outros	52,70 Aa	51,44 ABa	44,86 Ba	46,15 Ba
Matéria Mineral (%)	Folhas	3,92 Ba	4,37 Ba	5,87 Aa	4,52 Aa
	Frutos	3,32 Bab	4,13 Aa	3,77 Ab	3,93 Aab
	Galhos	2,66 Bb	2,97 Bb	3,57ABb	3,82 Aab
	Outros	3,04 Bb	3,70 Bab	5,31Aa	3,48 Bb
Lignina / Nitrogênio	Folhas	21,83	24,72	20,06	20,95
	Frutos	21,50	20,62	25,33	26,08
	Galhos	46,30	28,11	33,48	27,72
	Outros	22,57	25,17	21,25	31,18
Carbono / Nitrogênio	Folhas	25,25 Ab	28,54 Aa	23,93 Ab	25,67 Aa
	Frutos	30,91 Bb	28,30 Ba	53,27 Aa	39,01ABa
	Galhos	52,93 Aa	43,01 Aa	32,11 Ab	36,89 Aa
	Outros	24,81 Ab	27,63 Aa	26,68 Ab	28,47 Aa

Médias seguidas de letras distintas, maiúscula na linha e minúscula na coluna, diferem pelo teste SNK (P<0,05)

Na tabela 2, está representada a contribuição anual da arbórea Ipê Felpudo para o solo, em macronutrientes e matéria orgânica em comparação com dados de uma compilação realizada por Palm (1995) de dados de arbóreas leguminosas ou não: *Leucaena leucocephala*, *Erythrina poeppigiana*, *Inga edulis*, *Senna siamea*, *Dactyladenia barteri* e *Grevillea robusta*. O valor médio da relação C/N foi de 31,10 (tabela 2). Mesmo nas folhas este valor esteve acima de 20 ao longo do ano (tabela 1). Destacam-se os

valores de N e K da liteira 78,0 e 39,4 kg ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente. A contribuição de P foi bastante reduzida, somente 3,2 kg ha⁻¹ ano⁻¹. Assim com na liteira, os teores de P no solo foram bastante reduzidos. A presença de árvores não afetou significativamente (P>0,05) os teores deste elemento no solo, mas houve diferença estatística (P<0,05) quanto à profundidade. Os valores encontrados foram 2,23; 1,75; 1,07 e 0,93 mg dm⁻³, nas camadas de 0-10; 10-20; 20-40 e 40-100 cm, respectivamente.

Tabela 2 - Contribuição anual da arbórea Ipê Felpudo (*Zeyheria tuberculosa* Vell. Bur.) para o solo, em macronutrientes e matéria orgânica em um sistema silvipastoril no bioma Cerrado (Lagoa Santa/MG – 2005)

Variável	Dados da arbórea Ipê Felpudo		Varição de outras espécies arbóreas ¹
	Composição média da liteira (%)	kg ha ⁻¹ ano ⁻¹	kg ha ⁻¹ ano ⁻¹
Matéria Seca total	100	4360,2	-
Matéria Mineral	3,88 ± 0,94	169,23	-
Matéria Orgânica	96,12 ± 0,94	2430,78	-
Carbono	55,74 ± 0,43	2095,5	-
Cálcio	0,61 ± 0,29	26,5	13 – 110
Fósforo	0,07 ± 0,04	3,2	2 – 11
Nitrogênio	1,79 ± 0,55	78,0	40 – 154
Potássio	0,90 ± 0,59	39,4	24 – 84
Lignina	45,04 ± 8,00	-	-
Carbono/Nitrogênio	31,10 ± 11,03	-	-
Lignina/Nitrogênio	25,16 ± 9,46	-	-

¹Palm (1995): dados de sete espécies arbóreas leguminosas ou não

Na figura 2 está representada a contribuição mensal de Ca, P, N e K, que ocorreu

principalmente nos meses de agosto e setembro.

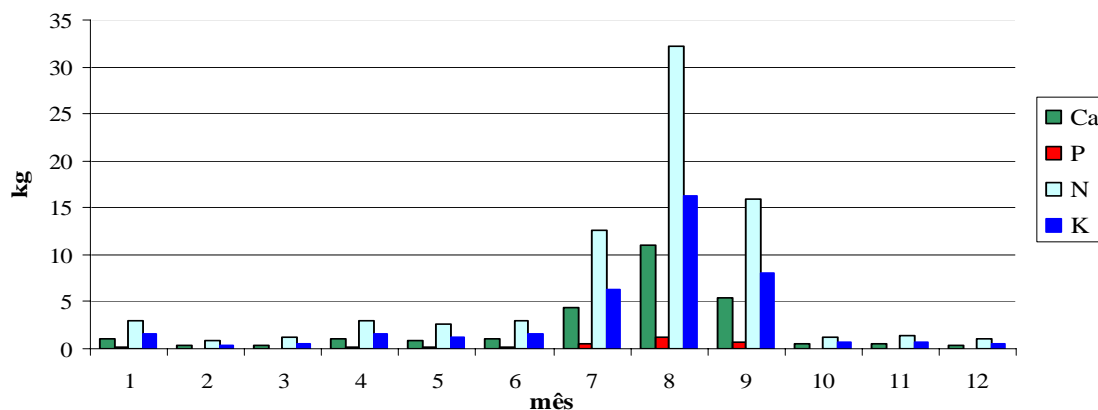


Figura 2 – Contribuição mensal da arbórea Ipê Felpudo (*Zeyheria tuberculosa* Vell. Bur.) para o solo, em cálcio, (Ca) fósforo (P), nitrogênio (N) e potássio (K) (Lagoa Santa/MG – 2005)

Na tabela 3, estão representados os teores de macronutrientes e de matéria orgânica em solos de pastagens de BBM com e sem influência da arbórea Ipê Felpudo (*Zeyheriatuberculosa* Vell. Bur.). Os teores de MO decresceram com a profundidade e foram mais elevados na monocultura em

relação ao SSP nas profundidades de 2-10 e 20-40 cm. Entre os sistemas, não houve diferença estatística nos teores de K e P. Os teores de $S-SO_4^{-2}$ crescem com o aumento da profundidade no SSP e o oposto ocorre na monocultura. O sistema com árvores apresentou maiores teores de Mg^{+2} .

Tabela 3 – Teores médios de matéria orgânica (MO), potássio (K), fósforo (P), enxofre ($S-SO_4^{-2}$), cálcio (Ca^{+2}), magnésio (Mg^{+2}), em função de profundidade, em solo sob sistema silvipastoril (SSP) e monocultura (mono) (Lagoa Santa-2006)

Sistema	Prof (cm)*	MO (%)	K (mg dm ⁻³)	P (mg dm ⁻³)	S-SO ₄ ⁻² (mg dm ⁻³)	Ca ⁺² (c molc dm ⁻³)	Mg ⁺² (cmolc dm ⁻³)
Mono	0-2	4,77±0,58Aa	193,00±45,21a	3,00±0,57a	3,50±0,55Aa	1,68±0,29Ba	1,40±0,31a
	2-10	3,76±0,58Ab	135,87±35,69b	2,57±0,86b	3,37±0,74Aa	0,67±0,31Ab	0,59±0,36b
	10-20	2,60±0,40Ac	70,13±14,72c	1,79±0,75c	3,25±0,46Ab	0,39±0,19Bc	0,27±0,24c
	20-40	1,81±0,11Ad	42,50±17,46d	1,09±0,35d	2,50±0,75Bc	0,23±0,07Ac	0,13±0,07c
	40-100	1,33±0,11Ad	17,67±6,66d	0,93±0,31d	1,67±0,58Bd	0,30±0,10Ac	0,10±0,00c
	Média	-	96,94±65,83	1,95±0,98	-	-	0,50±0,52B
SSP	0-2	5,10±0,67Aa	253,83±111,39a	2,87±0,55a	2,67±0,82Bd	2,68±0,81Aa	2,00±0,53a
	2-10	2,80±0,24Bb	95,63±36,90b	1,89±0,58b	2,63±0,52Bd	0,76±0,27Ab	0,56±0,21b
	10-20	2,36±0,24Ac	82,50±30,26c	1,71±0,33c	3,00±0,93Bc	0,60±0,17Ab	0,41±0,13c
	20-40	1,40±0,17Bd	49,37±35,84d	1,06±0,21d	5,00±2,67Ab	0,27±0,14Ac	0,12±0,05c
	40-100	1,13±0,29Ad	17,00±4,08d	0,93±0,22d	5,25±0,50Aa	0,23±0,13Ac	0,10±0,00c
	Média	-	100,32±92,06	1,71±0,76	-	-	0,62±0,71a
CV (%)		13,86	41,32	29,35	23,95	22,79	31,52

*Todas as amostras, exceto na profundidade 0-2cm, foram coletadas no terço médio. Médias seguidas de letras distintas, minúsculas referindo a profundidade dentro do sistema e maiúsculas referindo a sistema em uma mesma profundidade, diferem entre si pelo teste de SNK (P<0,05)

Os valores de pH, alumínio (Al^{+3}), hidrogênio mais alumínio (H + Al), soma de bases (SB) e capacidade de troca catiônica efetiva (t) capacidade de troca catiônica a pH 7,0 (T) apresentaram diferença na camada mais superficial em relação às demais profundidades (tabela 4) em ambos os sistemas. Em relação ao pH, não houve diferença estatística entre os sistemas. Todavia, na camada de 0-2 cm é mais elevado no sistema com árvores e ocorre o oposto em relação à camada 2-10 cm.

Os teores de Al^{+3} aumentam com a profundidade em ambos os sistemas e apresentam-se mais elevados nos solos da monocultura, assim como H + Al. Os valores de T foram mais elevados na camada mais superficial do solo com presença de árvores, entretanto este sistema apresentou menores valores deste atributo. Não houve diferença (P>0,05), entre os sistemas em relação à t, todavia estes valores foram mais elevados na camada mais superficial do sistema silvipastoril.

Tabela 4 – Valores médios de atributos de solos, em função de profundidade, em sistema silvipastoril (SSP) e monocultura (mono) (Lagoa Santa - 2006)

Sistema	Prof (cm)*	pH (H ₂ O)	Al ⁺³ (cmolc dm ⁻³)	H + Al (cmolc dm ⁻³)	SB (cmolc dm ⁻³)	CTC efetiva (cmolc dm ⁻³)	CTC pH 7,0 (cmolc dm ⁻³)
Mono	0-2	5,15±0,18Ba	0,63±0,31d	5,97±1,10b	3,58±0,59Ba	4,20±0,51Ba	9,55±1,01b
	2-10	4,86±0,22Ab	1,74±0,55c	9,50±1,56a	1,60±0,68Ab	3,34±0,27Ab	11,10±0,96a
	10-20	4,75±0,23Ab	2,31±0,35b	10,11±1,41 a	0,84±0,46Bc	3,13±0,18Bc	10,95±1,00 a
	20-40	4,79±0,11Ab	2,50±0,17a	10,05±0,46 a	0,45±0,14Ad	2,96±0,09Ad	10,51±0,44 ab
	40-100	4,83±0,06Aab	2,50±0,17a	9,47±1,15 a	0,43±0,06AcD	2,93±0,06Ad	9,90±1,13 ab
	Média	-	1,93±0,77A	9,14±1,91A	-	-	10,53±1,02A
SSP	0-2	5,63±0,41Aa	0,17±0,19d	4,40±1,01b	5,33±1,51Aa	5,50±1,38Aa	9,73±1,08b
	2-10	4,64±0,28Bb	1,71±0,50c	8,90±1,58 a	1,57±0,45Ab	3,29±0,11Bb	10,49±1,21a
	10-20	4,61±0,19Ab	1,96±0,28b	8,99±1,11 a	1,22±0,30Ab	3,17±0,17Ac	10,21±0,85a
	20-40	4,64±0,19Ab	2,35±0,21a	9,31±0,73 a	0,54±0,17Ac	2,86±0,15Bd	9,85±0,63 ab
	40-100	4,65±0,06Ab	2,50±0,22a	9,33±0,95 a	0,35±0,13Ac	2,85±0,10Bd	9,67±0,85 ab
	Média	-	1,74±0,84B	8,27±2,12B	-	-	10,04±0,94B
CV (%)	2,44	15,35	6,30	18,91	7,62	7,50	

*Todas as amostras, exceto na profundidade 0-2cm, foram coletadas no terço médio Médias seguidas de letras distintas, minúsculas referindo a profundidade dentro do sistema e maiúsculas referindo a sistema em uma mesma profundidade, diferem entre si pelo teste de SNK (P<0,05) alumínio (Al⁺³), hidrogênio (H) + Al e soma de bases (SB)

Em relação às demais camadas, os percentuais da saturação por bases (V) foram mais elevados na camada 0-2 cm e destaca-se o valor encontrado no sistema

silvipastoril (54,50) (tabela 5). Este sistema apresentou maior V, relações Mg / K e Ca + Mg / K que a monocultura.

Tabela 5 – Valores médios de saturação por bases (V), saturação por alumínio (m) e relações de bases Ca / Mg, Ca / K, Mg / K e Ca + Mg / K, em função de profundidade, em solo sob sistema silvipastoril (SSP) e monocultura (mono) (Lagoa Santa - 2006)

Sistema	Prof (cm)*	V (%)	m (%)	Ca / Mg	Ca / K	Mg / K	Ca + Mg / K
Mono	0-2	38±7a	15,00±8,32d	1,22±0,18c	3,57±1,04b	2,93±0,85a	6,67±1,86a
	2-10	15±7b	52,50±17,76c	1,27±0,31c	2,13±1,23c	1,84±1,39b	4,00±2,56b
	10-20	8±6c	73,50±13,97b	1,75±0,64c	2,10±0,73c	1,45±1,00bc	3,50±1,69b
	20-40	4±1d	84,37±4,78a	2,00±0,76b	2,26±0,80c	1,29±0,70c	4,50±2,56b
	40-100	5±1d	84,67±2,52a	3,00±1,00a	7,77±3,87a	2,50±0,80bc	7,75±3,77a
	Média	14±13B	61,42±27,76a	1,71±0,76	2,93±2,10	1,87±1,13B	4,82±2,97B
SSP	0-2	55±11a	3,67±4,27d	1,33±0,17c	4,57±1,66b	3,38±1,15a	8,17±2,79a
	2-10	15±6b	52,00±14,38c	1,40±0,29c	3,47±1,58c	2,49±1,15b	6,13±2,80b
	10-20	12±4c	61,50±8,02b	1,49±0,36c	3,27±1,59c	2,14±0,90bc	5,63±2,56b
	20-40	6±2d	81,50±6,26a	2,19±0,53b	3,06±1,92c	1,37±0,85c	4,50±2,56b
	40-100	4±1d	87,00±5,54a	2,25±1,26a	5,20±3,37a	2,30±0,40bc	7,75±3,77a
	Média	18±18A	56,76±29,21B	1,69±0,64	3,73±1,96	2,28±1,12A	6,18±2,95A
CV (%)	14	14,21	32,49	37,46	37,46	33,00	

*Todas as amostras, exceto na profundidade 0-2cm, foram coletadas no terço médio Médias seguidas de letras distintas, minúsculas referindo a profundidade dentro do sistema e maiúsculas referindo a sistema em uma mesma profundidade, diferem entre si pelo teste de SNK (P<0,05)

As relações Ca / T, Mg / T, Ca + Mg / T e (Ca + Mg + K) / T foram mais elevados no solo sob árvores, sendo que os valores decresceram com a profundidade independentemente do sistema (tabela 6). Os valores da relação K / T tendem a diminuir com a profundidade, ao passo que na (H +

Al) / T, apenas a camada mais superficial apresenta um valor inferior às demais. Para este atributo, na camada de solo 0-2 cm sob na monocultura, foi encontrado maior valor em relação ao SSP. Por outro lado, a relação das bases ocupando a CTC do solo é maior na camada 0-2 cm do SSP.

Tabela 6 – Percentuais médios de Ca / T, Mg / T, K / T, H + Al / T, Ca + Mg / T e Ca + Mg + K / T, em função de profundidade, em solo sob sistema silvipastoril (SSP) e monocultura (mono) (Lagoa Santa - 2006)

Sistema	Prof (cm)*	Ca / T (%)	Mg / T (%)	K / T (%)	H + Al / T (%)	Ca + Mg / T (%)	Ca + Mg + K / T (%)
Mono	0-2	17,83±3,11a	14,67±3,61a	5,50±1,64a	62,33±7,31Ab	32,50±5,89a	37,83±7,03a
	2-10	6,25±3,41b	5,62±3,70b	3,37±0,74b	85,12±7,36Aa	11,75±7,15b	15,12±7,37b
	10-20	3,87±2,29c	2,87±2,95c	1,75±0,71c	92,00±5,40Aa	6,50±5,04c	8,25±5,60c
	20-40	2,25±0,71d	1,25±0,71d	1,12±0,35d	95,75±1,49Aa	3,50±1,19d	4,37±1,41d
	40-100	3,00±1,00d	1,00±0,00d	0,33±0,58e	95,75±1,49Aa	4,00±1,00d	4,67±1,53d
	Média	6,51±6,09B	5,12±5,52B	2,55±1,91	-	11,54±11,52B	14,03±13,17B
SSP	0-2	27,50±2,99a	20,50±4,09a	6,83±3,06a	45,67±11,36Bb	47,83±9,47a	54,50±11,27a
	2-10	7,50±3,34b	5,75±2,55b	2,37±1,19b	84,62±5,90Aa	13,13±5,49b	15,50±5,88b
	10-20	6,25±2,12c	4,37±1,69c	2,13±0,83c	87,87±3,87Aa	10,13±3,91c	12,13±3,87c
	20-40	2,87±1,46d	1,25±0,46d	1,50±1,07d	94,50±1,93Aa	4,13±1,89d	5,62±1,85d
	40-100	2,50±1,73d	1,00±0,00d	0,50±0,58e	96,50±1,73Aa	3,50±1,73d	3,75±1,71d
	Média	9,06±1,73A	6,41±7,19A	2,68±2,51	-	15,29±16,48A	18,56±17,88A
CV (%)	20,61	18,62	24,25	2,12	13,02	11,29	

*Todas as amostras, exceto na profundidade 0-2cm, foram coletadas no terço médio Médias seguidas de letras distintas, minúsculas referindo a profundidade dentro do sistema e maiúsculas referindo a sistema em uma mesma profundidade, diferem entre si pelo teste de SNK (P<0,05)

Todos os micronutrientes (tabela 7) apresentaram interação significativa entre tratamento e profundidade, exceto o manganês (Mn). Encontram-se maiores teores deste nutriente na camada mais superficial, sendo que nas demais não há diferença significativa. Os teores de boro (B) decrescem com a profundidade e apenas na camada de 0-2 cm houve diferença (P<0,05) entre os dois sistemas, sendo mais elevado no SSP. Exceto na camada de 20-40 cm, na qual não houve diferença estatística, os teores de ferro (Fe) foram mais elevados no

solo sob pastagem exclusiva. Em relação ao Cu e ao Zn, não houve diferença entre os sistemas em relação à camada de 0-2cm, entretanto, nas demais, houve grande variação dependendo do sistema e da profundidade.

Os valores de P, K, Ca / Mg, Ca / K e T não apresentaram diferença entre sistemas e também não houve interação entre sistema e profundidade (tabela 8). Os valores de P e K decresceram com a profundidade e o oposto ocorreu com Ca / Mg.

Tabela 7 – Teores médios de boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn), em função de profundidade, em solo sob sistema silvipastoril (SSP) e monocultura (mono) (Lagoa Santa - 2006)

Sistema	Prof (cm)*	B (mg dm ⁻³)	Cu (mg dm ⁻³)	Fe (mg dm ⁻³)	Mn (cmolc dm ⁻³)	Zn (cmolc dm ⁻³)
Mono	0-2	0,30±0,06Ba	1,73±0,39 Ab	302,67±64,69Aa	24,75±4,86a	1,58±0,35Aa
	2-10	0,18±0,03Ab	2,66±0,54Aa	228,87±54,10Ab	6,46±2,39b	1,45±0,37Aa
	10-20	0,13±0,03Abc	1,43±0,28Bb	98,13±32,93Ac	4,69±1,58b	0,34±0,19Bb
	20-40	0,11±0,01 Abc	1,16±0,50Ab	36,00±10,22Ad	2,15±0,76b	0,35±0,38Ab
	40-100	0,11±0,01Ac	1,40±1,39Ab	14,33±2,08Ad	1,67±0,91b	0,50±0,69Ab
	Média	-	-	-	7,87±8,60	-
SSP	0-2	0,42±0,03Aa	1,71±0,25Aa	232,83±42,13Ba	41,57±12,06a	1,58±0,37Aa
	2-10	0,14±0,02Ab	1,95±0,46Ba	139,62±78,09Bb	4,56±1,92b	0,62±0,34Bb
	10-20	0,12±0,01Ab	2,09±0,53Aa	101,50±44,38Bb	3,95±0,44b	0,77±0,49Ab
	20-40	0,13±0,02Ac	0,91±0,13Ab	26,37±3,62Ac	1,70±0,61b	0,12±0,05Ac
	40-100	0,11±0,01Ac	0,50±0,08Bb	11,25±3,40Bc	1,00±0,42b	0,15±0,06Ac
	Média	-	-	-	9,85±15,71	-
CV (%)	30,65	32,21	31,34	62,51	40,67	

*Todas as amostras, exceto na profundidade 0-2cm, foram coletadas no terço médio Médias seguidas de letras distintas, minúsculas referindo a profundidade dentro do sistema e maiúsculas referindo a sistema em uma mesma profundidade, diferem entre si pelo teste de SNK (P<0,05)

Tabela 8 – Valores médios de P, K, Ca / Mg, Ca / K e T, em função de profundidade, sob solos de ambos sistemas de cultivo (Lagoa Santa - 2006)

Prof (cm)*	fósforo (mg dm ⁻³)	potássio (mg dm ⁻³)	cálcio / magnésio	cálcio / potássio	CTC pH = 7,0 (cmolc dm ⁻³)
0-2	2,90 a	221,11 a	1,31 c	4,12 b	9,70 b
2-10	2,23 b	115,75 b	1,34 c	2,80 c	10,79 a
10-20	1,75 c	76,31 c	1,62 c	2,69 c	10,58 a
20-40	1,07 d	45,94 d	2,09 b	2,66 c	10,18 ab
40-100	0,82 e	27,47 d	2,70 a	6,00 a	10,00 ab
Média	1,82 ± 0,88	98,66 ± 79,63	1,70 ± 0,69	3,33 ± 2,05	10,28 ± 1,01

*Todas as amostras, exceto na profundidade 0-2cm, foram coletadas no terço médio Médias seguidas de letras distintas diferem entre pelo teste de SNK (P<0,05)

4. DISCUSSÃO

A dinâmica da liteira (figura 1) foi semelhante com o trabalho apresentado por Arato et al. (2003), que estudaram florestas estacionais semideciduais. De acordo com estes autores, neste tipo de vegetação, a fração foliar da serrapilheira varia entre 62 a 71% e o pico de deposição das folhas ocorre ao final da estação seca, como resposta da vegetação à estacionalidade climática. No presente experimento, este valor foi de 61%.

A variação sazonal na composição de alguns nutrientes na liteira é explicada por Teklay (2004). De acordo com este autor, há uma variação considerável dos teores de lignina durante a senescência. Quanto maior o teor de lignina na liteira, mais lenta vai ser a decomposição e menor a taxa de senescência. Isaac e Nair (2006) consideram como liteira de boa qualidade a que apresenta baixos teores de lignina e de fenóis e alto teor de nitrogênio, fatores que devem ser considerados ao realizar a escolha de árvores para sistemas silvipastoris com o objetivo de adicionar nutrientes ao solo. Conforme informações de vários autores (Stanley e Montagnini, 1999; Garay et al., 2004; Isaac e Nair 2006) a qualidade da liteira varia conforme a espécie. O alto teor de lignina interfere na decomposição por reduzir a velocidade com que os microrganismos do solo realizam este processo.

De forma geral, espécies que possuem baixas concentrações de um nutriente nos tecidos a serem colhidos são as mais indicadas na conservação deste elemento em longo prazo. Assim, plantações mistas, que apresentam níveis intermediários de nutrientes na biomassa em relação a monoculturas, são mais recomendadas para reverter ou limitar o declínio na fertilidade do solo. Ressalta-se que devido à competição interespecífica, as árvores apresentam liteiras de qualidade diferentes quando plantadas em monoculturas ou em policultivos, entretanto deve-se evitar incluir no consórcio espécies que produzem liteira de pior qualidade (Stanley e Montagnini, 1999). Enfatiza-se que o SSP avaliado era composto por apenas uma espécie arbórea.

Outros fatores também influenciam a qualidade da liteira. Conforme Teklay (2004), a variação na composição da liteira ocorre devido ao fenômeno de translocação, que seria a absorção de uma parcela dos nutrientes dos tecidos senescentes para os perenes. Nas plantas decíduas, a reabsorção é mais intensa em relação às que não perdem totalmente suas folhas durante o período mais seco do ano. A extensão da translocação depende principalmente da espécie, estação do ano, umidade e fertilidade do solo. Veetas (1992) ressalta que apesar dos nutrientes dos tecidos senescentes das árvores serem translocados para as partes perenes, esta taxa de

translocação é variável e o material que cai pode ser de alta qualidade.

A disponibilidade de nutrientes no solo exerce efeito direto na quantidade e qualidade da liteira, pois, em solos mais pobres, as arbóreas são mais eficientes em utilizar os nutrientes, imobilizando-os mais intensamente nos tecidos perenes, produzindo liteira com maior relação C/N (Rapp et al., 1999; Dent et al., 2006). Esta relação, assim como o teor de lignina, é um importante determinante na disponibilidade de nutrientes para o solo porque controla o processo de decomposição, imobilização e mineralização. Se esse valor for menor que 20 promove a mineralização do N no solo, favorecendo a nutrição vegetal. A relação C/N aumenta com a idade do sistema, sugerindo que deve demorar vários anos para a biomassa decompor e liberar nutrientes para o solo (Budiadi et al., 2006). Na liteira analisada, o valor médio foi de 31,10 (tabela 2), o que pode indicar liberação lenta de nutrientes para o solo. Mesmo nas folhas este valor esteve acima de 20 ao longo do ano (tabela 1).

A contribuição da arbórea com nutrientes da liteira ocorreu ao final da estação seca, nos meses de agosto e setembro (figura 2). Sendo que a maior demanda por nutrientes ocorre durante o verão, quando há precipitação e luminosidade mais elevadas e, conseqüentemente maior produção forrageira.

Palm (1995) acrescenta ainda os seguintes aspectos como fonte de variação da composição de nutrientes da liteira: clima, diferenças das metodologias de análises laboratoriais, manejo e idade das plantas. Buresh e Tian (1998) mencionaram ainda como fatores que afetam o potencial de bombeamento de nutrientes de camadas profundas: profundidade do sistema radicular das arbóreas e pela alta demanda de nutrientes da árvore, restrição hídrica e/ou de minerais que ocorrem na superfície

do solo e reservas consideráveis de disponibilidade de nutrientes no subsolo.

Na tabela 2, está representada a contribuição anual da arbórea Ipê Felpudo para o solo, em macronutrientes e matéria orgânica. Considerando os dados citados por Peron e Evangelista (2004), os valores de N e K da liteira seriam suficientes para repor as perdas destes dois nutrientes no mesmo período, entretanto o mesmo não ocorre em relação ao fósforo. Estes autores citam que as perdas anuais de nutrientes, por hectare, em uma pastagem, são de 43 kg de N, 56 kg de P, 17 kg de K, que ocorrem por meio de diferentes formas, tais como pela retenção nos tecidos animais, pela erosão superficial e pelo acúmulo em locais onde os animais tendem a permanecer por mais tempo como áreas de sombra e próximos de cochos. A volatilização e a lixiviação são responsáveis pela perda de 15 e 5 kg ha⁻¹ano⁻¹ de N, respectivamente, ao passo que as perdas de 19 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de P ocorrem pela fixação em argila e matéria orgânica. Uma vez equilibrados os demais nutrientes, a adição de fertilizantes nitrogenados é o maior determinante da produção de forragem, entretanto representa elevado custo.

Os níveis de cálcio, potássio, nitrogênio e fósforo (tabela 2) são concordantes com os dados apresentados por Palm (1995), que analisou sete espécies arbóreas leguminosas ou não. Dos nutrientes supracitados apenas o fósforo não atenderia às demandas de forrageiras em consórcio com as árvores. Isto pode ser atribuído à grande carência deste mineral nos solos tropicais. Sanchez (1995) ressalta que o P costuma ser o nutriente com nível crítico em sistemas com reduzida uso de insumos externos. Logo, recomenda a estratégia de utilizar ao máximo as fontes orgânicas de P e suplementar com fertilizantes fosfatados, em solos pobres deste nutriente. Buresh e Tian (1998) relatam que a suplementação com fontes de P pode ser financeiramente interessante pelo fato da biomassa das folhas

de árvores normalmente terem uma alta relação N/P em relação às quantidades de N e P requeridos pelas lavouras.

Conforme Palm (1995), mesmo em sistemas mais intensivos, nos quais se realizam podas de leguminosas plantadas em fileiras intercaladas com o plantio principal, não obtêm-se níveis satisfatórios de P. Estes sistemas podem produzir, por hectare, mais de 20 t ano⁻¹ de MS, contendo 358 kg de N, 28 kg de P, 232 kg de K, 144 kg de Ca e 60 kg de magnésio (Mg).

Este acúmulo de matéria orgânica na superfície do solo interfere na sua formação (Jorge, 1983). De acordo com este autor, os processos pedogenéticos são reações de natureza química, física ou biológica. O desenvolvimento do perfil depende da ação de quatro processos: transformação, remoção ou perdas de materiais, translocação ou transporte e adição. Esta última pode se processar por meio da chuva, vento, ar, homem e vegetação. De qualquer maneira, para que os processos de intemperização (decomposição e desintegração) possam modificar o solo, demanda tempo, pois o processo de formação de solo é lento. No presente experimento, este fenômeno pode ser percebido por meio da diferença estatística, para a maioria das variáveis, entre a camada de 0-2 cm e as demais profundidades (tabela 3, 4, 5, 6 e 7). O que poderia ser atribuído à baixa mobilidade de P e a baixa concentração em relação a N e K.

Em relação ao P, os teores deste elemento decresceram com a profundidade e não houve diferença entre os sistemas (tabela 3). Ao contrário dos resultados encontrados por Merino e Edeso (1999), que não constataram correlação entre os teores de P das folhas com o do solo, no estudo atual, os teores de P tanto na liteira quanto no solo, foram bastante reduzidos. Esta baixa contribuição das árvores em relação ao P é explicada por Buresh e Tian (1998). Estes autores argumentam que as raízes têm maior capacidade de recuperar no subsolo água e

nutrientes móveis, como o nitrato, em relação a nutrientes com menor mobilidade como o P, que, além da questão de mobilidade, ainda apresenta pouca disponibilidade no subsolo.

De acordo com Tapia-Coral et al. (2005), a translocação e a lixiviação também influenciariam. Estes pesquisadores ao estudarem a arbórea *Theobroma*, na região Amazônica, encontraram teores de P na liteira 10 vezes menores ao mensurado nas folhas verdes desta arbórea, indicando altas taxas de translocação da queda das folhas. Entre as liteiras coletadas nos solos de vários sistemas agroflorestais os teores de P foram os mais baixos entre os nutrientes analisados, o que foi atribuído à lixiviação deste elemento.

Apesar de existir pouca evidência de que os teores de P se elevem à medida que os sistemas agroflorestais se tornam maduros, as árvores contribuem para a mineralização da quantidade total de P e para reduzir a quantidade de P complexado com outros nutrientes (Buresh e Tian, 1998; Raddad et al., 2006). Cardoso et al. (2005) concluíram que os sistemas agroflorestais podem influenciar a dinâmica do P por meio da conversão de P inorgânico em P orgânico. Isto foi atribuído à matéria orgânica acrescentada pelas árvores que favorecem os microrganismos do solo. Estes desempenham um papel fundamental nas transformações de fósforo orgânico, ao solubilizar baixos teores de fósforo inorgânico e proteger o P de adsorção por Fe e Al por liberação gradual de P à medida que ocorre renovação microbiana.

Se o consumo de P persistir nos mesmos níveis atingidos após a segunda guerra mundial, estimam-se que as reservas deste elemento se esgotem em meados do século XXI (Fearnside, 2003). Logo, por se tratar de um recurso limitado, o uso deve ser otimizado o que poderia ser por meio dos sistemas agroflorestais. Conforme Buresh e

Tian (1998), este elemento é essencial para a fixação de N_2 e o crescimento de árvores fixadoras de N_2 . Além disto, de acordo com Dent et al. (2006), assim como os teores de N do solo, o P também afeta a quantidade de material senescente.

De forma geral, os teores de MO e K reduziram à medida que aumentou a profundidade (tabela 3), o que também foi constatado no estudo realizado por Budiadi et al. (2006). Na camada de 0-2 cm, não houve diferença para os teores de MO em relação aos sistemas e, nas camadas de 2-10 e 20-40 cm, os teores foram mais elevados de MO na monocultura. Assim, as árvores parecem ter contribuído principalmente na camada mais superficial, todavia os teores de MO não são superiores em relação à área sem árvores. Este resultado não está de acordo com resultados de outros estudos (Kang, 1997; Bhojvaid e Timmer, 1998) nos quais a quantidade de MO é mais alta na camada superficial dos solos embaixo das árvores quando comparados a áreas sem árvores.

Todavia, esta controvérsia pode ser explicada pelo fato do percentual de carbono, e conseqüentemente os teores de matéria orgânica, presentes na camada de solo até 25 cm de profundidade, reduzir entre 25 e 40% até o segundo ou terceiro ano após o desmatamento, queima e implantação de pastagens, culturas agrícolas e plantações florestais. Depois deste período, dependendo da quantidade e qualidade de matéria orgânica que é introduzida no sistema, sob a forma de resíduos agrícolas, e a taxa de decomposição desta, os teores de carbono podem reduzir, manter-se em equilíbrio ou aumentar. A redução é comum nos casos de colheitas contínuas e de plantações florestais, ao passo que há aumento em florestas secundárias maduras, que possuem quantidade de biomassa similar às florestas primárias, e em pastagens melhoradas. Os teores de carbono do subsolo geralmente não reduzem após desmatamento e podem até

aumentar se a vegetação introduzida possuir um sistema radicular bem desenvolvido, como é o caso das gramíneas tolerantes a alumínio. Assim, há acréscimo de carbono no subsolo pela renovação das raízes destas (Sanchez, 1995), como pode ter ocorrido no experimento, principalmente nas camadas de 0 - 2 e 20 - 40 cm (tabela 3).

A biomassa do sistema radicular apresenta correlação positiva com a produção de forragem (Oliveira et al. 2003). A produção de BBM foi avaliada por Sousa (2005), no mesmo SSP do presente estudo. Tendo como referência a mesma área controle, este pesquisador concluiu que as condições ambientais prevaletentes no sub-bosque do Ipê Felpudo contribuíram para reduzir significativamente ($P < 0,05$) a produção de matéria seca (média de cinco cortes mensais durante o período chuvoso) da forrageira estudada. Logo, cogita-se que a menor produção de forragem na área sombreada refletiu em menores teores de MO na camada de 2-10 e na de 20- 40 cm, nas quais ocorreram diferença significativa entre sistemas a favor da monocultura, provavelmente onde não houve efeito da deposição da liteira pelas árvores e onde as raízes da gramínea são mais agressivas na exploração do solo e possuem rápida renovação. Estes resultados apresentam certa contradição ao apresentado por Budiadi et al. (2006). De acordo com estes autores, em sistemas agroflorestais, com o avanço do tempo, os teores de matéria orgânica tendem a aumentar nas camadas mais profundas e a permanecer constante nas camadas superficiais.

Além disto, as árvores desenvolvem sistemas radiculares mais profundos em regiões semi-áridas em relação às áreas de trópico úmido, resultando em teores de carbono armazenados pelas árvores similares aos das gramíneas tropicais tolerantes ao alumínio (Sanchez, 1995). Entretanto, acredita-se que este maior teor de matéria orgânica ocorre somente no caso

de pastagens bem manejadas, como a deste estudo. De acordo com Sanchez (1995), teores de C prontamente disponível ou C solúvel são reduzidos em solos degradados, mesmo que os teores de matéria orgânica pareçam normais. Microrganismos do solo precisam de substrato de C para formar N orgânico. Fertilizantes inorgânicos não possuem fontes de C, logo a maior parte de fertilizantes nitrogenados não utilizados pelas plantas estarão sujeitos a perdas por lixiviação, ao contrário dos fertilizantes orgânicos, que permanecem no sistema. Em torno de 50 a 80% do N orgânico não aproveitado pela plantas, é uma fonte de C orgânico, fonte de energia para a microbiota do solo.

Buresh e Tian (1998) complementam que a biota do solo, principalmente a macrobiota, tem papel fundamental na decomposição da matéria orgânica e de resíduos vegetais. Estes organismos, que ocorrem principalmente em solo sob influência de árvores, são essenciais para a disponibilidade de nutrientes em sistemas com baixas entradas de insumos, nos quais predominam os fertilizantes orgânicos. Populações de microartrópodes estão correlacionadas positivamente com teores de lignina da liteira. Por outro lado, populações de minhocas estão inversamente correlacionadas com este componente.

Outros fatores influenciam a quantidade de raízes e conseqüentemente os teores de matéria orgânica no solo. Conforme Block et al. (2006) a disponibilidade de N no solo é o principal determinante na produção, longevidade e mortalidade dos sistemas radiculares. Todavia, o crescimento das raízes também varia de acordo com temperatura e umidade. Temperaturas abaixo de 20°C tendem a reduzir a produção e a mortalidade de raízes. Sanchez (1995) completa que as árvores podem acrescentar N ao sistema por duas maneiras: fixação biológica de nitrogênio ou por meio do bombeamento das camadas mais profundas

para as mais superficiais. Raddad et al. (2006) esclarecem que quando ocorre desmatamento para a exploração, os teores de N normalmente diminuem como uma consequência do aumento da oxidação de matéria orgânica do solo. Todavia a perda anual de N tende a reduzir com o tempo e, aparentemente, poderiam ser compensadas pelo N fixado pelos microrganismos associados a algumas espécies arbóreas.

Os sistemas agroflorestais podem substituir a aplicação de fertilizantes nitrogenados até a determinada produção vegetal. Se a produção desejada for mais alta, deve ser realizada a suplementação de fertilizantes inorgânicos (Sanchez, 1995). No presente estudo, a quantidade de N presente na liteira (tabela 2) seria suficiente para repor as perdas deste nutriente do sistema, como já mencionado anteriormente. Entretanto, se a produção desejada for mais elevada, pode-se recorrer a fontes externas deste nutriente. Conforme Veiga e Veiga (2000) trata-se de um sistema complexo, cujas interações entre os componentes arbóreas, forrageira e animal, devem ser conhecidas e bem exploradas, para otimizar a eficiência produtiva.

Desta forma, podem-se explorar os benefícios dos SAF e realizar alguns ajustes de forma a alcançar a produtividade desejada. Mittal et al. (1992) realizaram um estudo sobre a substituição dos fertilizantes químicos pelos orgânicos, folhas de *Leucaena leucocephala*, em lavoura de milho. Os resíduos vegetais contribuíram para melhorar as qualidades físicas e a cobertura do solo, reduzindo as taxas de erosão em até 13% e aumentando a umidade no solo. Entretanto, a maior produção de milho e, com melhor resultado financeiro, foi alcançada por meio da combinação dos dois tipos de fertilização em relação a cada um dos tratamentos realizados de forma isolada. O fornecimento de fertilizantes químicos auxiliou na mineralização dos resíduos vegetais.

Apesar dos teores consideráveis de N e K na liteira (tabela 2), não houve melhora destes atributos no solo sob influência das árvores (tabela 3). Isto pode ter ocorrido devido à alta relação C/N e lignina/N (tabela 2), que dificultam a liberação de nutrientes para o solo. Stanley e Montagnini (1999) verificaram que as concentrações de N, P, K e Mg na liteira variam de acordo com a espécie arbórea. Entretanto, assim como no presente estudo, este fato não apresentou reflexos nas concentrações de N, P ou K dos solos sob influência das mesmas árvores, que apresentaram poucas variáveis com diferenças significativas. Todavia o percentual de N da liteira, 1,79%, esteve bem próximo do valor crítico para mineralização do N na liteira de 1,74% citado por Andrade et al. (2002b).

Budiadi et al. (2006) reforçam a importância do manejo adequado. Apesar das árvores bombearem nutrientes de camadas mais profundas e manterem a fertilidade do solo pela adição de liteira, a fertilidade do solo deve declinar em caso de manejo equivocado e remoção de biomassa. Além disto, as árvores demoram certo tempo para produzir biomassa e disponibilizar nutrientes para o solo e a disponibilidade dos resíduos orgânicos não é imediata como os inorgânicos. Nestas situações, recomenda-se a fertilização adicional.

Assim como os teores de MO, os valores de K também decresceram com a profundidade (tabela 3). Esse resultado pode indicar redução da lixiviação no sistema, que pode ter ocorrido, pela razão da MO, na superfície de ambos os sistemas ter acarretado em alta CTC, retendo maior teor de K nas camadas mais superficiais. Isaac e Nair (2006) informam que este nutriente não é um componente estrutural e é altamente móvel no solo, estando sujeito a lixiviação sendo carregado para as camadas mais profundas do solo. Em relação aos teores de $S-SO_4^{-2}$, na monocultura, a redução dos níveis deste nutriente com o aumento da profundidade,

no SSP, indica o potencial da BBM em reciclar nutrientes.

A espécie arbórea do sistema estudado, nesta densidade, influenciou a fertilidade do solo principalmente em relação aos atributos ligados a acidez do solo, tais como aumento de Mg^{+2} (tabela 3), SB e V e redução de H e Al (tabela 4) no SSP. Na camada de 0 – 2 cm, as árvores também contribuíram para a fertilidade do solo por meio dos aumentos dos valores de pH, Ca^{+2} e t e redução da relação $H+Al / T$. Por estes benefícios ocorrerem somente na camada mais superficial, indicando a formação lenta do solo. Em relação à monocultura, o maior valor da relação das bases ocupando a CTC do solo encontrado na camada 0-2 cm do SSP indica também que houve redução da lixiviação das bases, e conseqüentemente, menor contaminação ambiental no SSP. Alfaia (2004), ao avaliar solos de sistemas agroflorestais e de pastagens, encontrou, nos primeiros, valores mais elevados de pH, maiores teores de Ca^{+2} e Mg^{+2} e menores teores de Al. De acordo com Jorge (1983) e Montagnini e Sancho (1994), o pH do solo influi na biodisponibilidade de nutrientes e na relação solo-planta, afetando a capacidade de troca catiônica. Por exemplo, se o pH for inferior a 5,5, o fósforo tende a ser complexado, principalmente pelo alumínio e pelo ferro. Nessas situações, a matéria orgânica pode ser útil, pois, por meio de sua decomposição, ocorre liberação de outros elementos como os ácidos orgânicos, que produzem compostos com o ferro e alumínio, prendendo-os de forma a reduzir a insolubilização do fósforo, tornando-o disponível para as plantas. Merino e Edeso (1999) ressaltam a importância da manutenção das árvores pelo fato do desmatamento causar nitrificação intensa e favorecer a acidificação do solo e Sanchez (1995) destaca que as liteiras com altos teores de Ca^{+2} e Mg^{+2} podem reduzir a acidez do solo.

Em relação aos micronutrientes, no presente estudo, independente do sistema, os teores de B, Cu, Fe, Mn e Zn tenderam a decrescer com a profundidade (tabela 7). A presença das árvores favoreceu o aumento dos teores de B na camada de 0-2 cm ($P < 0,05$). Os teores de Fe foram mais elevados no solo sob pastagem exclusiva, exceto na camada de 20-40 cm, na qual não houve diferença entre os sistemas. De acordo com Jorge (1983), os teores deste elemento em solos pobres situam-se por volta de 200 mg dm^{-3} . Este valor foi mais elevado no solo da camada de 0-2 cm nos dois sistemas e na de 2-10 cm na monocultura. Por este formar complexos com o P, a menor concentração pode aumentar a disponibilidade de P.

Entretanto, supõe-se que os resultados dos atributos químicos de solo apresentariam maior diferença em relação a uma monocultura se a pastagem controle estivesse degradada e mal manejada como é mais comum no Brasil. De qualquer modo, Nair (1998) faz uma consideração importante ao afirmar que os SSP podem prestar muitos produtos e serviços, bastante complexos, e não devem ser avaliados somente pelo resultado de uma variável isoladamente, mas, sim, pela somatória delas. Além disto, Buresh e Tian (1998) destacam outros fatores que devem ser considerados como o aumento da infiltração de água e melhoria das atividades biológicas. Sanchez (1995) acrescenta a preservação da biodiversidade e as fontes de água numa escala regional.

Outras questões devem ser consideradas nas pesquisas com sistemas silvipastoris. Buresh e Tian (1998) destacaram a ocorrência de microvariabilidades no solo, que em regiões semi-áridas, podem favorecer o desenvolvimento vegetal e proporcionar a estabilidade da produção. Palm (1995) faz referência à importância da renovação das raízes finas e das micorrizas que podem contribuir duas a quatro vezes

com mais N e seis a dez vezes mais fósforo que a liteira acima do solo.

5. CONCLUSÕES

A espécie arbórea do SSP estudado, nesta densidade, influenciou a fertilidade do solo principalmente em relação à acidez do solo, tais como aumento do pH, Ca^{+2} , Mg^{+2} e saturação de bases, e redução de Al, na camada superficial e/ou no sistema. Em relação aos teores dos outros macronutrientes no solo, houve reduzida influência das árvores. Isto pode ter ocorrido devido às relações C/N e lignina/N. Em relação aos micronutrientes, de modo geral, os teores reduziram com a profundidade. Os níveis de Fe foram mais elevados em todas as camadas da monocultura, exceto na de 20 – 40 cm. Entretanto, há necessidade de mais estudos com outras espécies de árvores em condições distintas para avaliação dos seus efeitos sobre a fertilidade dos solos em sistemas silvipastoris, pois tratam-se de sistemas bastantes complexos e que não podem ser julgados apenas por um aspecto isoladamente.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALFAIA, S.S. et al. Evaluation of soil fertility in smallholder agroforestry systems and pastures in western Amazonia. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v.102, p. 409-414, 2004.
- ANDRADE, C.M.S.; VALETIM, J.F.; CARNEIRO, J.C. Árvores de Baginha (*Stryphnodendron guianense* (Aubl.) Benth.) em ecossistemas de pastagens cultivadas na Amazônia Ocidental, *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.31, n.2, p.574-582, 2002b.
- ANDRADE, L.A.Z.; FELFILI, J.M.; VIOLATTI, L. Fitossociologia de uma área de Cerrado denso na RECOR-IBGE, Brasília – DF, *Acta Botânica Brasilica*, v.16, n.2, 225-240, 2002a.

- ANDRADE, A.G.; TAVARES, S.R.L.; COUTINHO, H.L.C. Contribuição da serrapilheira para recuperação de áreas degradadas para manutenção da sustentabilidade de sistemas agroecológicos. *Informe Agropecuário*, v.24, n. 220, p.55-63, 2003.
- ARATO, H.D.; MARTINS, S.V.; FERRARI, S.H.S. Produção e decomposição e de serrapilheira em um sistema agroflorestal implantado para recuperação de área degradada em Viçosa-MG, *Revista Árvore*, v.27, p. 715-721, 2003.
- BHOJVAID, P.P.; TIMMER, V.R. Soil dynamics in age sequence of *Prosopis juliflora* planted for sodic soil restoration in Índia. *Forest Ecology and Management*, v.106, n.2-3, p.181-193, 1998.
- BLOCK, R.M.A.; VAN REES, K.C.J.; KNIGHT, J.D. A review of fine roots dynamics in *Populus* plantation. *Agroforestry Systems*, v. 67, p.73-84, 2006.
- BRASSARD, M.; BARCELLOS, A.O. Conversão do Cerrado em pastagens cultivadas e funcionamento de latossolos. *Cadernos de Ciência e tecnologia*, v.22, n.1, p. 153-168, 2005.
- BUDIADI; ISHII, H.T.; SABARNURDIN, M.S.; SURYANTO, P.; KANAZAWA, Y. Biomass cycling and soil properties in na agroforestry-based plantation system of *kayu putih* (*Melaleuca leucadendron* LINN) in East Java, Indonesia. *Agroforestry Systems*, v. 67, p.135-145, 2006.
- BURESH, R.J.; TIAN, G. Soil improvement by trees in sub-Saharan Africa. *Agroforestry Systems*, v.38, p.51-76, 1998.
- CARDOSO, I.M.; MEER, P.V.; OENEMA, O.; JANSSEN, B.H. KUYPER, T.W. Analysis of phosphorus by ³¹PNMR in Oxisols under agroforestry and conventional coffee systems in Brazil. *Geoderma*, v.112, p. 51-70, 2003.
- CARVALHO, R.; GOEDERT, W.J.; ARMANDO, M.S., Atributos físicos da qualidade de um solo sob sistema agroflorestal. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.39, n.11, p.1153-1155, 2004.
- COMPÊNDIO brasileiro de alimentação animal: métodos analíticos. Brasília: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1998. 199p.
- CUNNIFF, P. *Official methods of analysis of AOAC International*. 16.ed. Arlington: AOAC International, 1995. 1016p.
- DENT, D.H.; BAGCHI, R.; ROBINSON, R.; MAJALAP-LEE, N.; BURSLEM, D.F.R.P. Nutrient fluxes via litterfall and leaf litter decomposition vary across a gradient of soil nutrient supply in a lowland tropical rainforest. *Plant and Soil*, v.288, p. 197-215, 2006.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. - Brasília, Embrapa produção de Informação; Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 1999. 412 p.
- FEARNSIDE, P.M. Fósforo e a capacidade de suporte humano na Amazônia brasileira [Manaus, Brasil], 2003. disponível em <http://philip.inpa.gov.br/publ_livres/mss%20and%20in%20press/PHOS-K5-port.pdf> Acesso em 17/12/2006.
- GARAY, I.; PELLENS,R.; KINDEL, A.; BARROS, E.; FRANCO, A.A. Evaluation of soil conditions in fast-growing plantations of *Eucaliptus grandis* and *Acácia mangium* in Brazil: a contribution to the study of sustainable land use. *Applied Soil Ecology*, v.27, p. 177-187, 2004.
- ISAAC, S.R.; NAIR, M.A. Litter dynamics of six multipurpose trees in a homegarden in southern Kerala, Índia. *Agroforestry systems*, v.67, p. 203-213, 2006.
- JORGE, J.A. *Solo : manejo e adubação*. 2.ed. São Paulo: Nobel, 1983. 309p.
- KANG, B.T. Alley cropping-soil productivity and nutrient recycling. *Forest Ecology and Management*, v.91, p.75-82, 1997.
- LONGO, R.M; ESPÍNDOLA, C.R.; RIBEIRO, A.I. Modificações na estabilidade de agregados no solo decorrentes da introdução de pastagens

- em áreas de Cerrado e floresta Amazônica. *Revista Brasileira de Engenharia agrícola e Ambiental*, v.3, n.3, p. 276-280, 1990.
- MACEDO, M.C.M. Pastagens no ecossistema Cerrados: pesquisas para o desenvolvimento sustentável. In: SIMPÓSIO SOBRE PASTAGENS NOS ECOSISTEMAS BRASILEIROS, n.32, 1995, Brasília. Anais... Brasília: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 1995. p.26.
- MARTHA JÚNIOR, G.B.; VILELA, L. *Pastagens no Cerrado: baixa produtividade pelo uso de fertilizantes*. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2002. 32p.
- MERINO, A.; EDESO, J.M. Soil rehabilitation in young *Pinus radiata* D. Don. Plantations from northern Spain after intensive site preparation. *Forestry Ecology and Management*, v. 116, p. 83-91, 1999.
- MITTAL, S.P.; GREWAL, S.S.; AGNIHOTRI, Y. SUD, A.D. Substitution of nitrogen requirement of maize through leaf biomass of *Leucaena leucocephala*: agronomic and economic considerations. *Agroforestry Systems*, v.19, p. 207-216, 1992.
- MONTAGNINI, F.; SANCHO, F. Net mineralization in soils under six indigenous tree species, na abandoned pasture and a secondary forest in the Atlantic lowlands of Costa Rica. *Plant and Soil*, v. 162, p. 117-124, 1994.
- NAIR, P.K.R. Directions in tropical agroforestry research: past, present and future. *Agroforestry Systems*, v.38, p. 223-245, 1998.
- NELSON, S.W.; SOMMERS, L.E. Total Carbon, Organic Carbon and Organic Matter. IN: Page, A.L; Miller, R.H. & Keeney, D.R. (eds). *Methods of soil analysis*. 2 ed. Madison: American Society of Agronomy, 1982. v.2, p.535-579.
- OLIVEIRA, P. P. A., TRIVELIN, P. C. O. e OLIVEIRA, W. S. Eficiência da fertilização nitrogenada com uréia (¹⁵N) em *Brachiaria brizantha* cv. Marandu associada ao parcelamento de superfosfato simples e cloreto de potássio. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, v.27, n.4, p. 613-620. 2003.
- PALM, C.A. Contribution of agroforestry trees to nutrient requirements of intercropped trees. *Agroforestry Systems*, v.30, p. 105-124, 1995.
- PERON, A.J.; EVANGELISTA, A.R. Degradação de pastagens em região de Cerrado. *Ciência agrotécnica*, v. 28, n.3, p. 655-661, 2004.
- RADDAD, E.Y.; LUUKKANEN, O.; SALIH, A.A.; KAARAKKA, V. ELFADL, M.A. productivity and nutrient cycling in young *Acácia senegal* farming systems on Vertisol in the Blue Nile region, Sudan. *Agroforestry Systems*, v.68, p. 193-207, 2006.
- RAPP, M.; REGINA, I.S.; RICO, M.; GALLEGO, H.A. Biomass, nutrient content, litterfall and nutrient return to the soil in Mediterranean oak forests. *Forest Ecology and Management*, v.119, p. 39-49, 1999.
- RUGGIERO, P.G.C.; BATALHA, M.A.; PIVELLO, V.R.; MEIRELLES, S.T. Soil-vegetation relationships in Cerrado (Brazilian savanna) and semideciduos forest, Southeastern Brazil. *Plant Ecology*, v.160, p. 1-16, 2002.
- SANCHEZ, P.A. Science in agroforestry. *Agroforestry Systems*. V.30, p. 5-55, 1995.
- SOUSA, L.F. Produtividade e valor nutritivo do Braquiaraão (*Brachiaria brizantha* cv. Marandu) em sistemas silvipastoris. 2005. 68f. Dissertação (Mestrado em Nutrição Animal) – Escola de Veterinária – Universidade Federal de Minas Gerais: Belo Horizonte, MG, Brasil.
- STANLEY, W.G.; MONTAGNINI, F. Biomass and nutrient accumulation in pure and mixed plantations of indigenous tree species grown on poor soils in the humid tropics of Costa Rica. *Forestry Ecology and Management*, v.113, p.91-103, 1999.
- TAPIA-CORAL, S.C.; LUIZÃO, F.J.; WANDELLI, E. FERNANDES, E.C.M. carbon and nutrient stocks in the litter layer of agroforestry systems in central Amazônia, Brazil. *Agroforestry Systems*, v.65, p.33-42, 2005.

TEKLAY, T. Seasonal dynamics in the concentrations of macronutrients and organic constituents in green and senesced leaves of three agroforestry species in southern Ethiopia. *Plant and Soil*, v. 267, p. 297- 307, 2004.

VETAAS, R. O. Micro-site effects of trees and shrubs in dry savannas. *Journal of Vegetarian Science*, v. 3, p. 337-344, 1992.

VEIGA, J. B.; VEIGA, D. F. Sistemas silvipastoris na Amazônia oriental. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL "SISTEMAS AGROFLORESTAIS PECUÁRIOS NA AMÉRICA DO SUL", 2000. Juiz de Fora - MG:

Anais... Juiz de Fora - MG Embrapa Dairy Cattle - FAO. CD-ROM.

VIANA, V. M.; MAURÍCIO, R. M.; MATTA-MACHADO, R.; et al. Manejo de la regeneración natural de especies nativas para la formación de sistemas silvopastoriles en las zonas de bosques secos del sureste de Brasil. *Agroforestería de las Américas*, v. 9, n. 33-34, p. 48-52, 2002.

VILELA, D. Apresentação. In: CARVALHO, M.M.; ALVIM, M.J.; CARNEIRO, J.C., (Eds.). *Sistemas agroflorestais pecuários: opções de sustentabilidade para áreas tropicais e subtropicais*. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite; Brasília: FAO, 2001. p. 4-5.

CAPÍTULO IV

Influência de um sistema silvipastoril, estabelecido no bioma Cerrado, na produtividade e valor nutritivo da forrageira

Influence of a silvopastoral system on parameters of forage in the Brazilian savanna

RESUMO

No Cerrado, há dois limitantes principais para a produção animal no Cerrado: a baixa fertilidade do solo e os períodos de baixa pluviosidade, que podem ocorrer em todas as estações do ano, atipicamente no verão, quando é denominado veranico. A disponibilidade de forragem verde poderia ser prolongada se houvesse maior densidade de árvores nas pastagens, que criam um microclima, ao favorecer a retenção de umidade e o aporte de nutrientes para o solo. Entretanto, apesar de vários efeitos benéficos para a pastagem, meio-ambiente e animais, de forma geral, a formação de pastagens no Brasil implica na eliminação das árvores existentes na área. Esta associação entre pastagens, arbóreas e animais é chamada de sistema silvipastoril (SSP). Com o objetivo de avaliar a forrageira produzida dentro deste sistema foi conduzido um experimento em Lagoa Santa/MG, nas seguintes coordenadas geográficas: 19° 35' 36'' Sul, 43° 51' 56'' Oeste; altitude 747m. O sistema foi desenvolvido em 1984, por meio de regeneração natural de árvores pioneiras, típicas do bioma Cerrado, da espécie arbórea Ipê Felpudo (*Zeyheria tuberculosa* Vell. Bur). A forragem utilizada foi a *Brachiaria brizantha* cv. Marandu (BBM). A forragem coletada em janeiro de 2006, teve a produção mensurada e composição bromatológica determinada. Na densidade de 160 árvores ha⁻¹, a presença de árvores em pastagens de BBM não prejudicou a produção de MS da forrageira, durante o período avaliado. As arbóreas contribuíram para melhorar os aspectos nutricionais da

forragem ao incrementar os níveis de P, K e PB, que, na área sem árvores não era suficiente para atender os requisitos de manutenção dos animais. Os teores de Ca, FDN, FDA e lignina não foram alterados pela presença de árvores. Alguns atributos da forragem apresentaram correlação com atributos do solo. A ausência de correlação de outras variáveis da BBM pode indicar a influência de outros fatores, como a sombra e as condições microclimáticas proporcionadas pelas árvores. Assim, o sistema silvipastoril demonstrou o potencial de ser uma opção sustentável de produção animal, ao contribuir para o valor nutritivo da forragem durante um período de reduzida pluviosidade.

PALAVRAS-CHAVE: árvores, desmatamento, pastagens, sombreamento, sustentabilidade

ABSTRACT

In the Brazilian savanna, climatic conditions endanger the quality of forage production during the year, causing negative performance on animal. An extension of green forage availability could occur if there was a higher tree density on pastures, that create a microclimate, enhancing the moisture retention and the nutrients provision on the soil. Even though, despite many benefits to the pasture, to the environment and animals, during the pasture implementation most of trees are removed from the area. This association between pasture and tree is called silvopastoral systems. Aiming to evaluate the forage produced in these systems an experiment

was conducted in Lagoa Santa, Minas Gerais State, Brazil, 19° 35' 36" S, 43° 51' 56" W; altitude 747m. The system was implemented in 1984, through natural regeneration of pioneer trees, native from the Brazilian savanna, of the species *Zeyheria tuberculosa* Vell. Bur. The forage chosen was *Brachiaria brizantha* cv. Marandu (BBM) and it was collected in Jan 2006, a typical month of hydric stress. The production was evaluated in terms of quantity and quality. In the density studied, 160 trees ha⁻¹, the presence of trees in pastures of *Brachiaria brizantha* cv. Marandu did not cause any reduction on dry matter production from forage. Tree components reduced the weather stress and contributed to enhance the nutritional aspects of forage, increasing the crude protein, P and K levels. Trees have not influenced the Ca, NDF, ADF and lignin levels. Therefore the silvopastoral system showed the potential to extend the forage quality availability.

KEYWORDS: Deforestation, pastures, shedding, sustainability, trees.

1. INTRODUÇÃO

Estima-se que, na primeira metade do século XXI, a população mundial aumente em 50% e a demanda por alimento dobre (Tilman et al., 2002). Em relação aos produtos de origem animal, há projeções para, os primeiros 20 anos do século XXI, de aumentos de consumo de 87% para a carne e 75% para o leite pela população dos países em desenvolvimento, que representa três quartos da população mundial. Por outro lado, nos países desenvolvidos, o aumento da demanda será proporcional ao crescimento populacional. Neste contexto, os ruminantes desempenham importante função ao consumirem menor quantidade de grãos por unidade de carne produzida em relação aos monogástricos: 1,6 para frango e 1,8 para suíno ao passo que este valor para bovinos, ovinos e caprinos é de 0,3. Assim,

são eficientes na conversão de ingredientes impróprios para consumo humano em alimentos ricos em micronutrientes, energia e proteínas. O valor biológico deste último nutriente chega a ser 1,4 vezes maior nos produtos de origem animal em relação aos vegetais (Nicholson et al., 2001).

No Cerrado brasileiro, há aproximadamente 49,6 milhões de hectares de pastagens cultivadas, formadas principalmente por gramíneas do gênero *Brachiaria*, que comporta em torno de 41% do rebanho bovino nacional, responsável pela produção de mais da metade da carne bovina do país correspondendo a aproximadamente 10,5% da receita bruta agropecuária nacional (Martha Júnior e Vilela, 2002). Entretanto, estima-se que em torno de 80% destas pastagens encontra-se em algum estágio de degradação comprometendo a produção animal, em razão da produtividade de carne numa pastagem degradada poder ser seis vezes inferior àquela alcançada em pastagem em bom estado (Peron e Evangelista, 2004).

A densidade bovina média nesse ecossistema é inferior a uma unidade animal ha⁻¹. Tais índices indesejáveis têm como causa o manejo e práticas culturais inadequadas, durante a implantação e manutenção das pastagens, que levam à redução de fertilidade do solo, como uso inadequado de fertilizantes e carga animal superior à capacidade de suporte. Como o solo fica mais exposto à medida que há perda de vigor e produtividade da cobertura vegetal, no caso a forrageira, há aumento da compactação do solo e redução de infiltração de água no solo, logo ocorrem erosão e assoreamento de cursos de água, comprometendo a sustentabilidade dos recursos naturais (Macedo, 1995). Portanto, os impactos da degradação extrapolam os parâmetros produtivos normalmente analisados.

Os efeitos da degradação das pastagens podem ser revertidos por meio de métodos

de conservação do solo, de manejo adequado das pastagens, de limitar as queimadas nos pastos, reduzir a exclusão social em áreas sensíveis e implantar sistemas silvipastoris (Steinfeld et al., 2006), que são uma associação do componente arbóreo com a pastagem. A presença de árvores nas pastagens pode amenizar os efeitos negativos do clima sobre a forragem. Na área sob influência das árvores, haveria um microclima criado, que favorece a retenção de umidade e o enriquecimento de nutrientes promovendo a extensão da disponibilidade de forragem verde. Assim, beneficiaria os pastos tropicais, que, geralmente, possuem um valor nutritivo baixo e, à medida que ficam maduros, reduzem sua qualidade rapidamente (Sanchez, 2001).

No Cerrado, estes sistemas poderiam contribuir para incrementar a produção animal, pois, de acordo com Brassard e Barcellos (2005), os solos deste bioma são muito sensíveis a mudanças na pluviosidade ao apresentarem pouco volume de reserva de água. Esta característica do solo faz sentido diante do relato de Kanegae et al. (2000), que informam que as variações sazonais na disponibilidade de água seriam o principal limitante da produtividade vegetal nas savanas. Conforme estes pesquisadores e Armando (2002), no ambiente do Cerrado, há pequena oscilação de temperatura anual (18 a 25°C) e a pluviosidade é de cerca de 1200-1500 mm, concentrados principalmente durante o verão. Ao passo que o inverno, de abril a setembro aproximadamente, é seco e a precipitação mensal tende a ser inferior a cinco mm. Assim, conforme Macedo (1995), esta escassez de alimento na época da seca limita a produção animal, comprometendo o desempenho produtivo e reprodutivo dos animais.

Durante esta época, há menor disponibilidade de água nas camadas superficiais do solo, ao passo que as

camadas mais profundas permanecem úmidas. Entretanto, é comum a ocorrência de veranicos, períodos sem precipitação durante a estação chuvosa, que afetam o potencial de água no solo. Todavia, a maioria das arbóreas, por apresentar raízes profundas, teria acesso às reservas de água no subsolo (Kanegae et al., 2000) e bombeariam para as camadas mais superficiais, às quais as gramíneas têm acesso (Ludwig et al., 2004). Há que ressaltar que o veranico acontece quando há alta atividade fotossintética das plantas, que implica em elevada demanda de água (Brassard e Barcellos, 2005).

Entretanto, de forma geral, a formação de pastagens no Brasil implica na eliminação das árvores existentes na área, apesar de vários efeitos benéficos para a pastagem, para o meio-ambiente e para os animais (Carvalho et al., 1994). Se a sombra das árvores não for excessiva (acima de 50%) a produtividade do pasto não é muito afetada. Inclusive, observam-se incrementos da produtividade de pastagens sob influência de leguminosas arbóreas (Daccarett e Blydenstein, 1968). Mesmo as árvores que não fixam N₂ têm sido reconhecidas como melhoradoras da fertilidade do solo sob a copa, favorecendo a produção de forragem (Buresh e Tian, 1998). Esta maneira de incrementar a fertilidade do solo é altamente desejável, pois as reservas de minerais utilizados na fertilização são limitadas. De acordo com Fearnside (2003), se o consumo de P persistir nos mesmos níveis atingidos após a segunda guerra mundial, estimam-se que as reservas deste elemento se esgotem em meados do século XXI. Logo, por se tratar de um recurso limitado, o uso deve ser otimizado.

O objetivo deste estudo foi avaliar a influência de um sistema silvipastoril, implantado no bioma Cerrado, na produtividade e no valor nutritivo da forrageira durante um período típico de estresse hídrico.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Caracterização e localização dos sistemas

O experimento foi conduzido em um sistema silvipastoril localizado na fazenda Grota Funda nas seguintes coordenadas geográficas: 19° 35' 36'' Sul, 43° 51' 56'' Oeste; altitude 747m, correspondente ao bioma Cerrado do município de Lagoa Santa, no Estado de Minas Gerais, Brasil. O sistema foi desenvolvido em 1984 por meio de regeneração natural de árvores pioneiras, típicas do bioma Cerrado, da espécie Ipê Felpudo (*Zeyheria tuberculosa* Vell. Bur. - família: Bignoniaceae). Na técnica de roçada seletiva, procurava-se eliminar as espécies não desejadas e manter a espécie arbórea escolhida a distâncias mínimas de 4m. Atualmente, as árvores de Ipê medem aproximadamente entre 15 e 23 m de altura, DAP (diâmetro a altura do peito) de 40 a 60 cm. A densidade adotada foi de 160 árvores ha⁻¹. A escolha da espécie foi feita baseada nos seguintes preceitos: qualidades da madeira, velocidade de crescimento, arquitetura da copa, arquitetura do caule, presença no bioma ao qual pertence à propriedade e a resistência ao pastejo (Viana et al., 2002). Os solos da localidade são classificados como latossolo vermelho-amarelo e apresentam 651 g kg⁻¹ de argila, 211 g kg⁻¹ de silte e 138 g kg⁻¹ de areia.

A pastagem de BBM foi implantada em substituição a uma pastagem de capim Jaraguá (*Hiparrhenia rufa*), por meio de tração animal com uso de fosfato natural e calcário, estes em quantidades recomendadas a partir de análise prévia dos solos. As sementes foram distribuídas manualmente entre as árvores. A área não foi queimada, e sempre foi utilizada como fonte de forragem para os animais (Viana et al., 2002). Um pasto adjacente ao sistema, implantado com a mesma metodologia, entretanto sem a presença de árvores, foi utilizado como referência. A carga animal

(bovinos), em ambas as pastagens, foi ajustada à produção forrageira.

Durante o verão anterior ao do presente experimento, avaliações semanais das temperaturas máximas e mínimas do ar demonstraram que, em média, os valores de temperatura máxima aferidos foram 4,8°C mais elevados na área a pleno sol em relação à área sob influência das árvores, ao passo que em relação às temperaturas mínimas foi mais elevado em 0,4°C no sistema com árvores (Sousa, 2005).

2.2. Coleta dos dados

Com o intuito de estudar-se a influência das árvores sob a forrageira, foi mensurada a produção quantitativa e qualitativa desta durante o mês de janeiro de 2006. A escolha dos pontos de coleta das amostras de forragens ocorreu conforme a seguinte metodologia: três linhas paralelas foram traçadas, de 40 m de comprimento cada, cortando o centro de cada sistema de forma diagonal. A primeira e terceira diagonais ficavam a 10 e a 20 m da linha central, respectivamente. Em cada linha, foram coletados três pontos distantes 20 m entre si, totalizando nove pontos de coletas no sistema silvipastoril e nove pontos fora da sua área de influência, que foi o tratamento controle.

O procedimento de coleta foi o seguinte: no final de dezembro de 2005, foi feito um corte de uniformização da forrageira a 30 cm do solo. Em seguida, a área foi vedada para evitar o pastejo. De acordo com Silva (1995), o manejo correto do pastejo da BBM consiste em introduzir os animais na pastagem quando a gramínea estiver com altura média de 60 a 80 cm e retirá-los quando for rebaixada para 30 a 40cm. Assim, observando-se o ciclo da forrageira, 30 dias após o primeiro corte, coletou-se toda a forrageira produzida acima de 30 cm de altura, visando simular o manejo correto desta gramínea. Foi utilizado um quadrado

de 1m² para demarcar a forragem a ser coletada em cada ponto.

Em fevereiro de 2006, 15 dias após a coleta de forragem, nos mesmos pontos destas, as amostras de solos foram coletadas nas seguintes profundidades: 0 - 10, 10 - 20 e 20 - 40 cm, no terço médio por meio do trado holandês. Os dados de pluviosidade e umidade relativa do ar foram fornecidos pela Estação Meteorológica do Aeroporto de Internacional Tancredo Neves, localizado no município vizinho de Confins, nas seguintes

coordenadas geográficas: 19°54'32'' Sul e 43°58'18'' Oeste. As temperaturas mínima, média e máximas e umidade relativa do ar durante o período foram, respectivamente, 17,6; 23,5; 34,9 e 76%. A pluviosidade durante o ano de 2005 foi de 1432 mm. Na figura 1, está representado o perfil da distribuição da pluviosidade durante o período avaliado de crescimento da forrageira, que ocorreu de 22/12/05 a 20/01/06, quando foram registrados 44,6mm de chuvas.

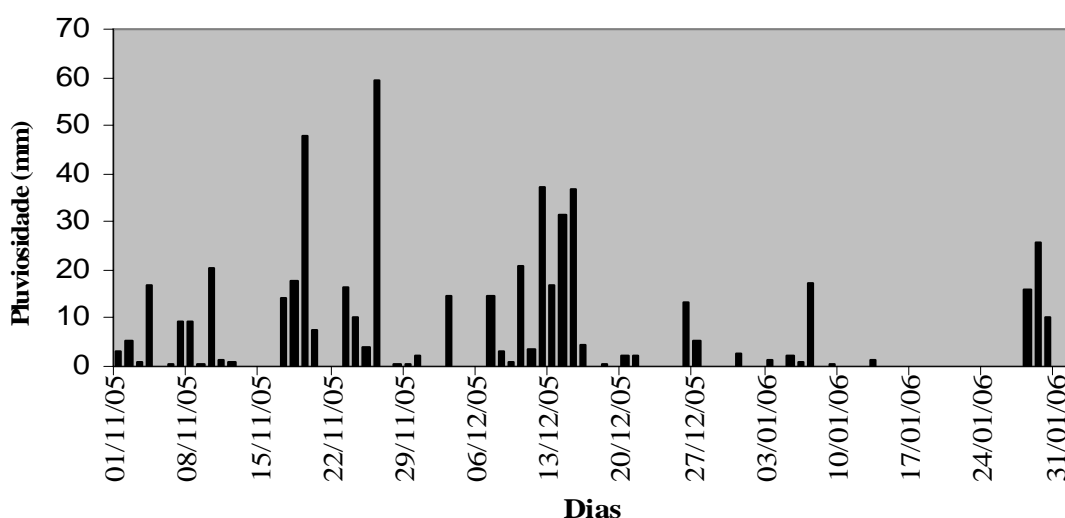


Figura 1. Perfil da distribuição da pluviosidade antes, durante e após o período avaliado de crescimento da forrageira, na região de Lagoa Santa/MG

Com o intuito de estudar-se a ciclagem de nutrientes que ocorre durante um ano no sistema, foi realizada uma estimativa de produção anual do material senescente, proveniente da parte aérea das arbóreas. Para este fim, foram utilizados quatro coletores (painéis de rede com malha 4 x 6 mm), distribuídos aleatoriamente na área sob influência das árvores. Cada coletor tinha uma área de 27 m² e ficava a 1,5 m de distância do solo. Durante o ano de 2005,

foram realizadas doze coletas em intervalos de 30 dias.

2.3. Análises laboratoriais

Após a coleta, a liteira foi classificada em folhas, galhos, frutos e outros (material fracionado, de composição bem variável durante o ano). Assim como a forragem coletada, a liteira foi pesada, pré-secada, em estufa de circulação forçada a 60 °C por 72h e moída a um mm. As composições bromatológicas de ambas foram analisadas

de maneira semelhante: matéria seca (MS), matéria mineral (MM) (Compêndio..., 1998), proteína bruta (PB) pela metodologia de Kjeldahl (Cunniff, 1995), cálcio (Ca), fósforo (P) e potássio (K) foram determinados utilizando-se as técnicas de permanganometria, colorimetria e fotometria de chama, respectivamente. Determinou-se a composição da forragem quanto a fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA) e lignina pelo método sequencial (Robertson e Van Soest, 1982). Os teores de lignina foram determinados por meio da imersão direta das amostras, e não do resíduo do FDA, no mesmo detergente utilizado na última etapa do método sequencial. O valor de matéria orgânica (MO) foi estimado como a diferença entre os valores de MS e MM e o valor de carbono (C) como 58% da MO (Nelson e Sommers, 1982). Estas análises bromatológicas ocorreram nos laboratórios de nutrição animal da Escola de Veterinária da UFMG e da PUC-MG. As amostras de solos foram analisadas no Laboratório de Análises de Solos da Universidade Federal de Uberlândia/MG, conforme EMBRAPA (1999).

2.4. Análises estatísticas

As respostas avaliadas foram submetidas aos testes de Lilliefors e Bartlett para verificar normalidade e homocedasticidade, respectivamente. Os dados da liteira e de solos foram analisados por meio das estimativas de média e erro padrão com o propósito de mostrar o comportamento das variáveis no sistema silvipastoril. Para os dados das forrageiras, realizou-se a análise de variância e, para comparação de médias de grupos experimentais, utilizou-se o teste Fisher ($P < 0,05$) para todas as variáveis. Também foram estudados modelos de regressão para os atributos da forrageira em função das variáveis de solo. Para isso foi utilizado o procedimento backwards. Utilizou-se o coeficiente de determinação

ajustado na seleção dos modelos. Também foi feita a correlação de Pearson entre atributos do solo e da forrageira.

3. RESULTADOS

Na tabela 1, apresentam-se atributos químicos de interesse dos solos dos sistemas avaliados. Os valores de Ca^{+2} e V foram ligeiramente mais elevados no SSP em relação à monocultura, ao passo que o oposto ocorreu para os atributos pH, P, K, Al^{+3} .

A contribuição das árvores com a fertilidade do solo por meio da liteira está apresentada na tabela 2. Estima-se que as 160 árvores ha^{-1} do sistema, durante um ano, acrescentaram à pastagem mais de quatro $t\ ha^{-1}$ de matéria orgânica. Destacam-se a contribuição de nitrogênio, potássio e cálcio, ao passo que a contribuição de fósforo é reduzida. As relações carbono/nitrogênio e lignina/nitrogênio foram elevadas, respectivamente, 31,10 e 25,16.

Os resultados relativos à disponibilidade e composição da BBM estão na tabela 3. A produção de matéria verde foi mais elevada ($P < 0,05$) no sistema com árvores, mas devido ao menor percentual de matéria seca deste sistema ($P < 0,001$), a produção total de matéria seca foi semelhante entre os sistemas.

Os teores de proteína foram mais elevados ($P < 0,001$) na forragem sombreada tendo como parâmetro a que cresceu em pleno sol. Os nutrientes, exceto o cálcio, também apresentaram percentuais mais elevados na forragem sombreada. As árvores não influenciaram os percentuais de FDN, FDA e lignina (tabela 3).

Tabela 1 - Atributos químicos, em solo sob sistema silvipastoril (SSP) e monocultura (Lagoa Santa-2006)

Variável	Profundidade (cm)					
	Monocultura			SSP		
	0-10	10-20	20-40	0-10	10-20	20-40
pH (H ₂ O -1:2,5)	4,86±0,22	4,75±0,23	4,75±0,11	4,64±0,28	4,61±0,19	4,64±0,11
fósforo (mg dm ⁻³)	2,57±0,86	1,79±0,75	1,09±0,35	1,89±0,58	1,71±0,33	1,06±0,21
potássio (mg dm ⁻³)	135,87±35,69	70,13±14,72	42,5±17,46	95,63±36,90	82,5±30,26	49,37±35,84
cálcio (cmolc dm ⁻³)	0,67±0,31	0,39±0,19	0,23±0,07	0,76±0,27	0,6±0,17	0,27±0,14
magnésio (cmolc dm ⁻³)	0,59±0,36	0,27±0,24	0,13±0,07	0,56±0,21	0,41±0,13	0,12±0,05
alumínio (cmolc dm ⁻³)	1,74±0,55	2,31±0,33	2,5±0,17	1,71±0,50	1,96±0,28	2,35±0,21
H + Al (cmolc dm ⁻³)	9,5±1,56	10,11±1,41	10,05±0,46	8,9±1,58	8,99±1,11	9,31±0,73
soma de bases (cmolc dm ⁻³)	1,6±0,68	0,84±0,46	0,45±0,14	1,57±0,45	1,22±0,30	0,54±0,17
CTC efetiva (cmolc dm ⁻³)	3,34±0,27	3,13±0,18	2,96±0,09	3,29±0,11	3,17±0,17	2,86±0,15
CTC a pH 7,0 (cmolc dm ⁻³)	11,1±0,96	10,95±1,00	10,51±0,44	10,49±0,49	10,21±0,85	9,85±9,85
saturação por bases (%)	15±7	8±6	4±1	15±6	12±4	6±2

Hidrogênio + Alumínio (H + Al) e capacidade de troca catiônica (CTC)

Tabela 2 - Contribuição anual da arbórea Ipê Felpudo (*Zeyheria tuberculosa* Vell. Bur.) para o solo, em macronutrientes e matéria orgânica em um sistema silvipastoril no bioma Cerrado (Lagoa Santa/MG - 2005)

Variável	Composição média da liteira (%)	kg ha ⁻¹ ano ⁻¹
Matéria Seca total	100	4360,2
Matéria Mineral	3,88 ± 0,94	169,23
Matéria Orgânica	96,12 ± 0,94	2430,78
Carbono	55,74 ± 0,43	2095,5
Cálcio	0,61 ± 0,29	26,5
Fósforo	0,07 ± 0,04	3,2
Nitrogênio	1,79 ± 0,55	78,0
Potássio	0,90 ± 0,59	39,4
Lignina	45,04 ± 8,00	-
Carbono/Nitrogênio	31,10 ± 11,03	-
Lignina/Nitrogênio	25,16 ± 9,46	-

Tabela 3- Atributos produtivos e análise bromatológica de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu (BBM) em sistema silvipastoril (SSP) e fora da influência delas (monocultura) (Lagoa Santa/MG – 2006)

Variável	Sistema de cultivo		Probabilidade	CV (%)
	Monocultura	SSP		
PMV (g m ⁻²)	193,30±71,70	295,8±121,55	**	33,79
PMS (g m ⁻²)	76,54±28,33	79,24±27,20	-	30,60
MS (%)	39,84±4,90	28,12±4,44	***	13,23
PB (%)	5,19±0,53	8,62±1,37	***	15,84
MM (%)	7,11±0,62	7,84±0,62	*	8,82
cálcio (%)	0,45±0,07	0,41±0,06	-	14,19
potássio (%)	1,80±0,63	3,03±0,47	**	24,12
fósforo (%)	0,07±0,02	0,11±0,03	**	26,81
FDN (%)	72,69±2,01	72,68±1,47	-	2,36
FDA (%)	58,43±2,44	56,40±2,53	-	4,21
Lignina (%)	6,97±0,48	7,25±0,99	-	9,82

produção de matéria verde (PMV), produção de matéria seca (PMS), percentual de matéria seca (MS), proteína bruta (PB), matéria mineral (MM), fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA) -, ***, **, * - (teste Fisher: P>0,05; P<0,001; 0,01; 0,05, respectivamente)

Na tabela 4, estão representados os valores das correlações entre atributos da forragem e químicos do solo. Destaca-se a associação significativa entre pH e quase todas as variáveis da forragem. A associação entre os teores de Ca⁺² no solo, com os percentuais destes nutrientes na forragem é de magnitude média, 0,6312 (P<0,01), ao passo que esta relação não foi constatada de P e K (P>0,05). Houve associação significativa entre Al⁺³ com FDN e FDA, respectivamente -0,6350 e -0,6450 (P<0,01).

As equações de regressão e os respectivos coeficientes de determinação dos atributos da forrageira em função das variáveis do solo, que foram significativos, estão

representados na tabela 5. De forma geral, para cada característica avaliada da forragem a magnitude e a natureza dos coeficientes de regressão foram distintos nos dois sistemas de cultivo. As variáveis da forragem Ca⁺², K e lignina foram condicionadas por maior número de atributos químicos do solo em ambos os sistemas. Da mesma forma que o P e FDN somente do SSP. Para os teores de K na forragem, houve um maior número de coeficientes de regressão comuns – pH, P e SSO₄⁻² – determinando a variável na forragem. Em alguns casos extremos, como teor de proteína, por exemplo, obteve-se R² de 0,9781 na monocultura e não encontrou um modelo significativo para o SSP.

Tabela 4- Correlações de Pearson entre atributos químicos do solo e da forragem (Lagoa Santa/MG - 2006)

Atributos Solos	Atributos da forrageira										
	PMV	PMS	MS	MM	Ca ⁺²	K	P	PB	FDN	FDA	Lignina
pH	-0,7494 ***	0,5657 *	-0,4823 *	-	0,6415 **	-0,7273 **	-0,5521 *	-0,6369 **	-	-	-
fósforo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
potasio	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,5648 *	-0,5724 *	-
enxofre	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
calcio	-	-	-	-	0,6312 **	-	-	-	-	-	-
magnésio	-	-	-	-	0,5120 *	-	-	-	-	-	-
alumínio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H+Al	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
soma de bases	-	-	-	-	0,5646 *	-	-	-	-	-	-
CTC efetivo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CTC A pH 7,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
soma por bases	-	-	-	-	0,4855 *	-	-	-	-	-	-
matéria orgânica	-	0,5353 *	-	-	0,5442 *	-	-	-0,5282 *	-	-	-
K / T	-	-	-	-	-0,4499 *	-	-	-	-0,6350 **	-0,6453 **	-

produção de matéria verde (PMV) e de matéria seca (PMS), percentuais de matéria seca (MS), matéria mineral (MM), cálcio (Ca⁺²), potássio (K), fósforo (P), proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), hidrogênio mais alumínio (H+Al), capacidade de troca catiônica efetiva (CTC) e relação entre bases K / T -, ***, **, * (teste t: P>0,05; P<0,001; 0,01; 0,05, respectivamente)

Tabela 5- Parâmetros de regressão de da *B. brizantha* cv. Marandu (BBM), em função das variáveis de solo, em monocultura desta gramínea ou em consórcio com a arbórea *Zeyheria tuberculosa* Vell. Bur (SSP) (Lagoa Santa/MG – 2006)

Variável	Sistema	Modelo	R ²
PMV	Monocultura	3466,78 - 664,72 pH + 395,15 Ca - 2,77 K	0,7735
	SSP	-34,38 + 232,59 P	0,7778
MS	Monocultura	50,55 - 6,48 P - 0,31 K + 9,81 S-SO ₄ ⁻²	0,7414
	SSP	-168,11 + 52,24 pH - 60,68 Ca - 0,18 K	0,9750
MM	SSP	17,48 + 8,85 t - 0,42 m - 0,91 V	0,7918
Cálcio	Monocultura	0,47 + 0,08 Mn - 0,0022 Fe - 0,16 S-SO ₄ ⁻² + 0,004 K	0,9581
	SSP	0,26 - 0,0013 K - 0,07 Zn + 0,36 Mg + 0,02 (H+Al)	0,9864
Potássio	Monocultura	28,66 - 5,73 pH - 1,03 SSO ₄ + 1,41 P - 0,02 K	0,9953
	SSP	42,60 - 6,91 pH - 1,45 P - 0,08 m - 0,09 S-SO ₄ ⁻²	0,9809
Fósforo	SSP	1,50 - 0,34 pH + 0,33 SB - 0,39 Mg - 0,0004 K	0,9864
PB	Monocultura	2,78 - 0,02 K + 0,71 V - 6,31 SB	0,9781
FDN	Monocultura	118,05 - 9,39 P - 0,33 M - 39,94 B	0,9499
	SSP	302,93 + 16,25 S-SO ₄ ⁻² + 0,75 Fe + 138,37 Ca - 141,19 t	0,9156
Lignina	Monocultura	2,45 - 25,66 Ca + 11,10 SB + 1,94 Cu + 0,01 Fe	0,8685
	SSP	65,32 - 3,44 Al + 0,07 Fe - 2,11 Mn - 16,26 t	0,9577

produção de matéria verde (PMV) e de matéria seca (PMS), teores de matéria seca (MS), matéria mineral (MM), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), cálcio (Ca), potássio (K), fósforo (P), enxofre (S-SO₄⁻²), capacidade de troca catiônica efetiva (t), saturação por alumínio (m), saturação por bases (V), manganês (Mn), ferro (Fe), zinco (Zn), Magnésio (Mg), hidrogênio+alumínio (H+Al), soma de bases (SB), boro (B), cobre (Cu)

4. DISCUSSÃO

É necessário cautela ao atribuir ao solo sob árvores isoladas os aumentos da produção de MS. Os teores mais elevados de nutrientes no solo podem ser atribuídos à liteira das árvores e à presença de gado que, ao utilizar a sombra das árvores, concentra os nutrientes neste local específico (Durr e Rangel, 2002). Entretanto, há evidências que as árvores podem ter estabelecidas em locais com condições mais favoráveis de solo, assim a maior fertilidade sob árvores isoladas pode ser resultados de diferenças anteriores ao desenvolvimento delas (Buresh e Tian, 1998). Todavia, no presente estudo, por tratar-se de um sistema com alta densidade de árvores, este efeito de

concentração de dejetos animais não ocorreria. O teor de N da liteira estudada (1,79%) (tabela 2) permitiu a mineralização dos nutrientes, pois está ligeiramente acima do valor considerado crítico para que ocorra mineralização (1,74%) citado por Andrade et al. (2002).

Os teores de Ca, P, N e K da liteira estiveram dentro da variação de arbóreas, leguminosas ou não, apresentadas por Palm (1995) *Leucaena leucocephala*, *Erythrina poeppigiana*, *Inga edulis*, *Senna siamea*, *Dactyladenia barteri* e *Grevillea robusta*. (tabela 2). Entretanto, alguns parâmetros foram superiores aos dados apresentados por Andrade et al. (2001), que avaliaram a liteira do eucalipto. De acordo com este autor, a

liteira produzida pelo eucalipto apresentou teores de 0,63% de nitrogênio, 0,04% de fósforo e relação C/N de 86 ao passo que os valores destas mesmas variáveis, da arbórea nativa, no presente estudo, foram as seguintes, respectivamente: 1,79%, 0,07% e 26,81. Ainda conforme Andrade et al. (2001), as gramíneas tropicais, assim como o eucalipto, produzem liteira com baixos teores de nutrientes, principalmente N, P e K. Desta forma, em sistemas silvipastoris formados principalmente por gramíneas tropicais e eucalipto, a liteira produzida é de baixa qualidade, muito parecida com a produzida pela pastagem exclusiva de gramíneas. Diante desta colocação, a escolha da(s) arbórea(s) a compor (em) o sistema deve ser criteriosa, evitando-se interações negativas entre os componentes.

Podem-se explorar os benefícios dos sistemas agroflorestais (SAF) e realizar alguns ajustes de forma a alcançar a produtividade desejada. Mittal et al. (1992), ao realizarem um estudo sobre a substituição dos fertilizantes químicos pelos orgânicos, em um SAF, concluíram que o uso simultâneo promoveu tanto maior produtividade quanto melhor desempenho econômico. Os resíduos vegetais contribuíram para melhorar as qualidades físicas e a cobertura do solo, reduzindo as taxas de erosão em até 13% e aumentando a umidade no solo.

Assim, buscam-se soluções que otimizem o uso de fertilizantes, ao melhorar os atributos químicos de solo, e conseqüentemente, resultem em produtividades elevadas e ao mesmo tempo causem menos impactos ambientais. Dos atributos de solos analisados, os que apresentaram correlação com o maior número de aspectos produtivos e qualitativos da forragem foram MO, pH e K (tabela 4). Rigatto et al. (2005) também encontraram correlações entre os dois últimos atributos com características da forragem.

Tilman et al. (2002) compreenderam que altas produtividades agrícolas são dependentes da aplicação de fertilizantes, principalmente dos compostos nitrogenados, cujo consumo mundial aumentou sete vezes entre 1960 e 1995. Neste período, também houve aumento do consumo de P em 3,5 vezes e há expectativas que a demanda por ambos triplique até 2050. Entretanto, a utilização mais intensiva destes nutrientes não implica necessariamente em aumentos na produção, pois a eficiência dos fertilizantes declina nos níveis mais altos de uso. Atualmente, em torno de 50% das terras aproveitáveis são utilizadas em atividades agropecuárias intensivas. Todavia, as lavouras utilizam somente 30 a 50% dos compostos nitrogenados e em torno de 45% das fontes de fósforo aplicados, sendo que quantidades consideráveis são perdidas nos campos agrícolas. Além de causar prejuízos aos ecossistemas naturais, a agricultura polui o meio ambiente com quantidades consideráveis de fósforo e nitrogênio. Se as técnicas agrícolas correntes continuarem a ser utilizadas para dobrar a produção de alimentos, estes montantes de detritos tendem a triplicar.

Além da queda da eficiência de fertilizantes, a restrição hídrica também compromete diretamente a produtividade da pastagem. Conforme Kanegae et al. (2000), deficiências no estado hídrico e nutricional das plantas poderiam modificar a resposta fotossintética à disponibilidade de luz nas plantas. De acordo com Andrade et al. (2001), em monoculturas de gramíneas tropicais, a redução da disponibilidade de N com o passar do tempo é a principal causa da degradação das pastagens implantadas e, conforme Kanegae et al. (2000), a disponibilidade reduzida de água, em algumas épocas do ano, compromete severamente a produtividade vegetal nas savanas. Paris e Paris (1996) citam a redução do suprimento de água para irrigação como outro limitante que poderia comprometer o aumento da produção

agrícola, pois em torno de 60 a 65% das terras aráveis mundiais estão sujeitas a restrição de água.

A evapotranspiração tende a reduzir à medida que aumenta a cobertura arbórea (Gyene et al., 2002), pois, a copa das árvores reduz os extremos de temperatura do solo e das folhas favorecendo o microclima da pastagem (Sanchez, 1995). Assim, uma das expectativas, em sistemas silvipastoris, é que proporcionem maior disponibilidade de água à forragem em períodos de menor precipitação, tendo como referência áreas a pleno sol. Outros efeitos podem agravar o efeito da baixa disponibilidade de água, como solos ácidos e com elevada saturação por Al, que afeta o crescimento das raízes em profundidade; teores de argila superiores a 64%; competição das árvores por água no solo e interceptação de água das chuvas pela copa (Andrade et al., 2001). Entretanto, no presente estudo, os teores de Al ou apresentaram correlação não significativa ou de fraca magnitude com os atributos da forragem analisados (tabela 4).

Em estudos realizados na Patagônia, constatou-se que a maior parte da biomassa das gramíneas tende a concentrar-se em até 20 cm de profundidade, assim só conseguem explorar uma porção relativamente restrita do perfil do solo. Além disto, não competem por água com as árvores, que exploram camadas mais profundas. Desta forma, os sistemas silvipastoris utilizam fontes de água que não seriam outrora utilizadas, demonstrando maior eficiência no uso de recursos que pode refletir em maior produtividade (Gyene et al., 2002). Todavia, em savana com precipitação inferior a 650 mm, as árvores competem com as gramíneas por água. A menor disponibilidade deste elemento é o principal limitante do desenvolvimento da gramínea sombreada ao passo que a que esteve a pleno sol tem a produção limitada por menores teores de N no solo. Entretanto, as produções de ambas são semelhantes (Ludwig et al., 2004).

O aspecto das gramíneas coletadas nos dois sistemas avaliados foi semelhante ao descrito por Andrade et al. (2002). No estudo realizado por estes autores, as folhas da forragem sombreada apresentaram coloração verde escuro intensa contrastando com o tom verde-claro, indicativo de deficiência de N no solo, das amostras coletadas a pleno sol. O teor de PB, 50% superior na forragem sombreada em relação à não sombreada, foi atribuído ao maior conteúdo de nitrogênio no solo sob árvores. Daccarett e Blydenstein (1968) e Carvalho et al (1994) também correlacionaram os teores de N da forragem com os do solo e Andrade et al. (2001) concluíram que a adubação nitrogenada elevou os teores de N da forragem.

No presente estudo, os teores de PB foram superiores ($P < 0,001$) na forragem sombreada (8,62%) em relação ao tratamento controle (5,19%) (tabela 3). Ressalta-se que o nível de proteína deste último tratamento foi inferior ao valor de 7%, considerado o mínimo necessário para uma fermentação ruminal satisfatória de forma que não comprometa o consumo do animal (Van Soest, 1994). Se a dieta consumida pelos animais apresentar menores teores protéicos ao supracitado, faz-se necessária a suplementação deste nutriente.

Diante das mudanças climáticas, estima-se que a redução da pluviosidade e temperaturas acima do nível ótimo da forrageira, comprometa o desenvolvimento desta, principalmente das C_3 , cujas pastagens tendem a ser invadidas por C_4 . Na ausência de mudanças significativas da composição vegetal, a qualidade da forragem vai declinar em sistemas nos quais a eficiência da conversão alimentar é limitada por proteína, o que ocorre principalmente nos trópicos. Por outro lado, predominantemente nas regiões temperadas, pode até ocorrer aumento onde os carboidratos são limitantes. A

suplementação, apesar de custosa ou até impraticável, pode suprimir os efeitos da redução de qualidade da forragem. A necessidade desta prática pode tornar algumas regiões, principalmente nos trópicos e subtropicais, ainda mais marginalizadas (Campbell e Smith, 2000).

Apesar da luz não atuar diretamente na absorção de nutrientes pelas plantas, os teores destes nos tecidos vegetais são afetados por alguns processos biológicos como respiração, transpiração e fotossíntese (Castro et al., 2001). Na tabela 5, foram demonstrados distintos coeficientes de regressão quanto à magnitude, natureza e número de atributos que condicionam a resposta na forrageira. Esta complexidade pode ser explicada por vários outros fatores, não avaliados neste estudo, mas que atuam de modo diferenciado nos dois sistemas, tais como teores de umidade, temperatura, luminosidade e incidência de ventos. Desta forma, de acordo com Feldhake (2001), em um sistema silvipastoril, as arbóreas desempenham um efeito bem mais complexo que simplesmente a contribuição de N para solo. A sombra, mesmo a artificial, desde que em níveis apropriados, tem promovido incrementos na produção e nos níveis de N da forragem.

Este efeito da sombra foi constatado por Ludwig et al. (2004) ao avaliar o efeito de árvores vivas e árvores mortas há menos de oito anos sob o solo e forragem. Os teores de N no solo foram semelhantes nos dois solos, entretanto, os teores deste elemento na forragem sombreada foram mais elevados em relação aos da gramínea que crescia na área de influência da árvore morta.

Nas gramíneas temperadas, o aumento nos teores de N foi atribuído às mudanças na morfologia da gramínea sombreada e, nas gramíneas tropicais, à maior disponibilidade de N devido à atividade microbiológica mais intensa na sombra (Feldhake, 2001). Todavia, no presente estudo, não houve

correlação entre os teores de N da forragem com os do solo (tabela 4). Gottingen e Zimmermann (1989) relatam a ocorrência de mudanças fisiológicas em plantas sombreadas que resultam em teores mais elevados de N. De acordo com estes autores a planta sombreada tem o metabolismo alterado, reduzindo a quantidade de compostos nitrogenados destinados à gliconeogênese. Desta forma, há maior acúmulo destes em seus tecidos, elevando o teor de N total da planta.

A BBM, utilizada no presente estudo, é uma gramínea considerada por Carvalho et al. (2002) como de média tolerância ao sombreamento. Estes autores ao avaliarem a produção desta gramínea, constataram que a BBM sombreada apresentou produção de matéria seca inferior ($P < 0,01$) àquela que cresceu em pleno sol. Entretanto, em períodos de menor pluviosidade, a forrageira sob influência de árvores tendeu a produzir maior quantidade de MS. Douglas et al. (2006) explicaram que há variações sazonais da quantidade de água no solo sob as árvores, tendendo a ser maior nos períodos mais secos do ano na área com árvores, ao passo que, nos períodos mais chuvosos, o solo da área sem árvores tende a apresentar maior quantidade de água devido ao aumento do consumo de água e da interceptação de chuva pelas árvores, nesta época do ano. A profundidade também influencia os teores de água. A camada de solo entre 2 a 4 m de profundidade possui menor teor de água na área com árvores em relação à área sem.

A sombra reduz a produção de matéria seca da forragem, que ocorre de forma mais acentuada nas gramíneas C4 em relação às C3. A manutenção da produção de matéria seca ou até mesmo a persistência em ambientes sombreados dependem da capacidade da planta de realizar modificações morfofisiológicas e bioquímicas nestas condições, tais como maior área foliar para a absorção da luz,

menores taxas de respiração, menores pontos de compensação e de saturação e menores taxas de saturação fotossintética. Entretanto, estas modificações podem comprometer a produtividade (Cavagnaro e Trione, 2007).

O solo sob influência de árvores, devido aos maiores conteúdos de matéria orgânica, possui maior capacidade de armazenar água (Douglas et al., 2006). No estudo atual, os teores de matéria orgânica do solo, apresentaram correlação de magnitude média com a produção de matéria seca da forragem: 0,5353 ($P < 0,05$) (tabela 4). Durr e Rangel (2003) esclareceram que quando ocorre enriquecimento do solo pelas árvores, as gramíneas utilizam a água disponível de forma mais eficiente no solo, ou seja, há maior produção de matéria seca por unidade de água transpirada. Este fenômeno justificaria o maior crescimento das gramíneas sob a copa das árvores em climas semi-úmidos em relação às não sombreadas, que, apesar da estarem expostas à maior luminosidade, não realizam, necessariamente, maior quantidade de fotossíntese líquida devido ao estresse hídrico. Deve-se ressaltar que o sombreamento deve ser leve a moderado e, aliado ao enriquecimento do solo sob árvores e à baixa pluviosidade, favoreceria a maior produção da forrageira sombreada em relação à exposta a pleno sol.

No experimento, o sistema silvipastoril influenciou positivamente a produção de matéria verde (PMV) de BBM, que foi superior ($P < 0,05$) àquela produzida na área sem árvores (tabela 3). Estes resultados estão de acordo com Veetas (1992). Conforme o qual as árvores modificam o microclima através da interceptação da luz solar entre 45 a 60%, reduzindo assim a temperatura do solo e a evaporação. Além disso, o componente arbóreo melhora a taxa de infiltração de água no solo e é capaz de transportar água das camadas mais profundas do solo para as mais superficiais,

as quais as raízes das forrageiras têm acesso. Esses fatores associados proporcionam o aumento da umidade do solo, facilitando assim o crescimento das forrageiras que estão sob as copas das arbóreas. Este bom desempenho também pode ser atribuído à melhora da fertilidade do solo devido ao acúmulo e decomposição de material senescente das árvores.

Provavelmente, esta maior quantidade de umidade disponível em ambientes com a presença de árvores influenciam no menor teor de matéria seca encontrado na forrageira sombreada ($P < 0,001$) (tabela 3). Apesar da maior produção de matéria verde, a produção de matéria seca (MS) de forragem não diferiu significativamente ($P > 0,05$) entre as áreas de sombra e sol (tabela 3). De acordo com Brassard e Barcellos (2005), a produção anual de pastagens de *Brachiaria* no Cerrado, com mais de cinco a sete anos de implantação varia entre 200 a 400g MS m² ano⁻¹.

Daccarett e Blydenstein (1968) também não encontraram redução na disponibilidade de matéria seca da forragem sob influência de diferentes espécies arbóreas. Em contrapartida, Carvalho et al. (1994) relatam menor produtividade do BBM sombreado em relação à forrageira na área de sol. Entretanto, destacam que a maior disponibilidade de MS ocorreu devido à maior quantidade de material morto.

A sombra retarda a perda de água pelas plantas e, conseqüentemente, influencia a sobrevivência e a queda de folhas. A quantidade de material morto, em períodos de severo estresse hídrico, foi de 38% para a gramínea sombreada e 82% na não sombreada (Durr e Rangel, 2003). Sousa (2005) também encontrou maior quantidade material morto nas forrageiras não sombreadas, o que não é desejável sob o ponto de vista nutricional, pois influencia o consumo voluntário do animal a pasto. Além disto, o material morto serve como substrato

para proliferação de fungos que causam fotossensibilização.

O teor de MS mais reduzido na forrageira sombreada em relação à não sombreada, resulta em maior suculência e palatabilidade, principalmente na época menos chuvosa do ano, quando o pasto se apresenta muito seco (Andrade et al., 2002). Todavia, não há consenso na literatura em relação à digestibilidade e palatabilidade em forrageiras sombreadas. Jansen et al. (1997) relatam que a *B.brizantha* sob sombra de árvores produziu maior proporção de hastes, logo apresentaria menor palatabilidade e digestibilidade em relação à que desenvolveu em pleno sol. Sousa (2005) também destacou que o sombreamento excessivo pode chegar a reduzir a digestibilidade *in Vitro* (DIVMS). Por outro lado, Carvalho et al. (2002) encontraram valores de DIVMS mais elevados na forrageira sombreada (59,01) em relação àquela sem influência de árvores (52,73).

De acordo com Daccarett e Bludenstein (1968), a forragem sombreada pode ter teores mais elevados de fibra. Entretanto, no presente estudo, os valores de FDN, FDA e lignina foram semelhantes entre as gramíneas dos sistemas estudados (tabela 3). Carvalho et al. (2002) também não encontraram diferença estatística entre os percentuais de FDN das forrageiras sombreada e a pleno sol, 73,92 e 73,12%, respectivamente.

No presente estudo, os níveis de Ca^{+2} na forragem dos tratamentos não diferiram de forma significativa ($P>0,05$) (tabela 3), mas apresentaram correlações positivas, 0,6312 ($P<0,01$), com os teores deste nutriente no solo e com os teores de matéria orgânica, 0,5442 ($P<0,05$) (tabela 4). Na literatura, não há consenso sobre a influência da sombra sob o nível de Ca^{+2} na forragem. Carvalho et al (1994) e Castro et al. (2001) relatam maiores teores deste nutriente na forragem sombreada. Por outro lado,

Andrade et al. (2002) encontraram na forrageira com sombreamento menores teores em comparação com a não sombreada, 0,21 e 0,26, respectivamente o que foi atribuído à menor taxa de amadurecimento desta gramínea, pois o Ca^{+2} , por ter baixa mobilidade, tende a ser mais elevado nas folhas mais velhas.

Em relação aos teores de P, eles foram mais elevados ($P<0,01$) (tabela 3) na forragem sombreada em comparação com o tratamento controle e apresentaram correlação negativa com os valores de pH do solo, -0,5521 ($P<0,05$) (tabela 4). Por outro lado, os teores encontrados por Andrade et al. (2002) foram numericamente iguais entre forrageiras sombreadas ou não: 0,14%. Castro et al. (2001) constatou que os teores de P da *B. brizantha* tenderam a elevar-se à medida que reduzia a luminosidade. Estes autores explicam que, na maioria das plantas, a luz estimula a absorção de H_2PO_4 , entretanto não há consenso na literatura se a luminosidade altera os teores deste elemento, pois há variação entre as espécies forrageiras.

Neste experimento, os teores de K mais elevados ($P<0,01$) (tabela 3) na forragem sombreada em comparação à que cresceu em pleno sol condizem com os resultados de Carvalho et al (1994) e Andrade et al. (2002). Os valores relatados por neste último estudo para forrageira com e sem influência de árvores são 3,34 e 2,77, respectivamente. Andrade et al. (2001) concluíram que as adubações potássicas elevaram os teores de K da forragem. Não obstante, no experimento atual, não houve correlação ($P>0,05$) entre os teores deste elemento do solo com o da forragem. Entretanto, os teores deste nutriente apresentaram correlações negativas com os valores de pH, -0,7273 ($P<0,01$) e de MO, -0,4880 ($P<0,05$) (tabela 4). Logo, outros fatores podem ter influenciado os níveis de K. Ludwig et al. (2004) esclarecem que a sombra pode ter efeitos tanto negativos quanto positivos na

produtividade vegetal. As temperaturas mais amenas na sombra beneficiam o crescimento das plantas. Por outro lado, a redução da luminosidade pode reduzir a produtividade e, conforme Silva-Pando et al. (2002), influenciar taxas ótimas de fertilização.

Desta forma, há necessidade de ser criterioso na escolha dos componentes do sistema, pois conforme Gautam et al. (2002), o crescimento horizontal e vertical das raízes finas varia entre as espécies arbóreas e interfere diretamente na competição com a vegetação sob a copa das árvores. Entretanto, além do componente genético, fatores climáticos e de manejo também influencia o desenvolvimento das raízes finas das árvores. Em condições limitantes como baixa umidade no solo, esta competição se agrava. Para otimizar a produção de biomassa das árvores e forragens do sistema agroflorestal como recomenda-se o plantio de árvores no sentido norte-sul. Sousa (2005) destacou a importância do manejo adequado em sistemas silvipastoris por meio de podas e ajuste da densidade das árvores para otimizar as relações entre os componentes do sistema. Em relação ao ajuste da carga animal, Brassard e Barcellos (2005) relataram que a redução na porosidade na superfície do solo é parcialmente limitante ao desenvolvimento radicular homogêneo em todo o volume do solo e este fator agrava-se em virtude do manejo do gado (pisoteio e sobrepastejo).

Nair (1998) alertou para a importância de não se avaliar os sistemas silvipastoris somente pelo resultado de uma variável isoladamente, mas, sim, pela somatória delas, pois, podem prestar muitos produtos e serviços. Isto pode ser observado no trabalho de Kallenbach et al. (2006). Este pesquisadores, ao compararem a produção de *Lolium multiflorum* Lam. e *Secale cereale* L. com e sem influência de *Pinus rigida* Mill., concluíram que a forragem sombreada produziu em torno de 20% a

menos de matéria seca em relação a que cresceu em área aberta. Entretanto, até as arbóreas completarem seis a sete anos de idade, não houve diferença na produção de carne entre as áreas com e sem árvores. Talvez, as árvores, ao proporcionarem proteção contra temperaturas extremas, podem ter compensado a menor produção de forragem. Desta forma, conforme Jansen et al. (1997) alguns benefícios potenciais das árvores nas pastagens como a sombra para os animais, a redução do risco de erosão em áreas íngremes, o aumento da biodiversidade e a utilização das arbóreas como estacas vivas para cercas são difíceis de valorar economicamente.

Todavia, por apresentarem também benefícios ambientais, além dos benefícios produtivos, estes sistemas devem ser utilizados como alternativa para áreas já desmatadas e não para substituir florestas primárias (Tapia-Coral et al., 2005).

5. CONCLUSÕES

No período e na densidade estudada, a presença da espécie arbórea *Zeyheria tuberculosa* Vell. Bur em pastagens de BBM não prejudicou a produção de MS da forrageira, durante um período típico de veranico. As árvores aparentemente amenizaram o estresse hídrico da forrageira e influenciou na composição mineral desta. Não houve alteração dos teores de FDN, FDA e lignina. Entretanto, as arbóreas contribuíram para manter a qualidade da forrageira, ao incrementar os níveis de PB em relação à área sem sombra, na qual, o percentual de PB da forragem produzida não foi suficiente para atender os requisitos de manutenção dos ruminantes. Alguns atributos da forragem apresentaram correlação com atributos do solo. A ausência de correlação de outras variáveis da BBM pode indicar a influência de outros fatores, como a sombra e as condições microclimáticas proporcionadas pelas árvores. O sistema

silvipastoril demonstrou o potencial de ser uma opção sustentável de produção animal, ao contribuir para o valor nutritivo da forragem durante um período de reduzida pluviosidade.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, C.M.S.; GARCIA, R.; COUTO, L.; PEREIRA, O.G. Fatores limitantes ao crescimento do capim – Tanzânia em um sistema agrossilvipastoril com eucalipto, na região dos Cerrados de Minas Gerais, *Revista Brasileira de Zootecnia*, 2001.
- ANDRADE, C.M.S.; VALETIM, J.F.; CARNEIRO, J.C. Árvores de Baginha (*Stryphnodendron guianense* (Aubl.) Benth.) em ecossistemas de pastagens cultivadas na Amazônia Ocidental, *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.31, n.2, p.574-582, 2002.
- ARMANDO, M.S. *Agrodiversidade: ferramenta para uma agricultura sustentável*. Brasília: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2002. 23p.
- BRASSARD, M.; BARCELLOS, A.O. Conversão do Cerrado em pastagens cultivadas e funcionamento de latossolos. *Cadernos de Ciência e tecnologia*, v.22, n.1, p. 153-168, 2005.
- BURESH, R.J.; TIAN, G. Soil improvement by trees in sub-Saharan Africa. *Agroforestry Systems*, v.38, p.51-76, 1998.
- CAMPBELL, B.D.; SMITH, D.M.S. A synthesis of recent global change research on pasture and rangeland production: reduced uncertainties and their management implications. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 82, p.39-55, 2000.
- CARVALHO, M.M., FREITAS, V.P., ALMEIDA, D.S. et al, Efeito de árvores isoladas sobre a disponibilidade e composição mineral da forragem em pastagens de braquiária. *Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia*, v.23, n.5, 1994.
- CARVALHO, M.M.; FREITAS, V.P.; XAVIER, D.F. início de florescimento, produção e valor nutritivo de gramíneas forrageiras tropicais sob condição de sombreamento natural. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.37, n.5, p.717-722, 2002.
- CASTRO, C.R.T.; GARCIA, R.; CARVALHO, M.M.; FREITAS, V.P. Efeitos do sombreamento na composição mineral de gramíneas forrageiras tropicais. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.30, n.6, p.1959-1968, 2001.
- CAVAGNARO, J.B.; TRIONE, S.O. Physiological, morphological and biochemical responses to shade of *Trichoris crinita*, a forage grass from the arid zone of Argentina. *Journal of Arid Environments*, v.68, p.337-347, 2007.
- COMPÊNDIO brasileiro de alimentação animal: métodos analíticos. Brasília: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1998. 199p.
- CUNNIFF, P. *Official methods of analysis of AOAC International*. 16.ed. Arlington: AOAC International, 1995. 1016p.
- DACCARETT, M., BLYDENSTEIN, J. La influencia de árboles leguminosos sobre el forrage que crece bajo ellos. *Turrialba*, v. 18, n.4, 1968.
- DOUGLAS, G.B.; WALCROFT, A.S.; HURST, S.E.; POTTER, J.F.; FOOTE, A.G.; FUNG, L.E.; EDWARDS, W.R.N.; VAN DEN DIJSSSED, C. Interactions between widely spaced young poblars (*Populus* spp.) and the understorey environment. *Agroforestry Systems*, v.67, p.177-186, 2006.
- DURR, P.A.; RANGEL, J. Enhanced forage production under *Samanea saman* in a subhumid tropical grassland. *Agroforestry Systems*, v.54, p.99-102, 2002.
- DURR, P.A.; RANGEL, J. The response of *Panicum maximum* to a simulated subcanopy environment. 2. Soil x shade x water interaction, *Tropical Grasslands*, v.37, p.1-10, 2003.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. - Brasília,

- Embrapa produção de Informação; Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 1999. 412 p.
- FEARNSIDE, P.M. Fósforo e a capacidade de suporte humano na Amazônia brasileira [Manaus, Brasil], 2003. disponível em <http://philip.inpa.gov.br/publ_livres/mss%20and%20in%20press/PHOS-K5-port.pdf> Acesso em 17/12/2006.
- FELDHAKE, C.M. Microclimate of a natural pasture under planted Robinia pseudoacacia in central Appalachia, West Virginia. *Agroforestry Systems*, v.53, p.297-303, 2001.
- GAUTAM, M.K.; MEAD, D.J.; CHANG, S.X.; CLINTON, P.W. Spatial variation and understorey competition effect of Pinus radiata fine roots in a silvopastoral system in New Zealand. *Agroforestry Systems*, v.55, p.89-98, 2002.
- GOTTINGEN, A.P.; ZIMMERMANN, M.H. Encyclopedia of plant physiology, New Series, v.6, New York: Springer-Verlag, 1989, 500p.
- GYENE, J.E.; FERNÁNDEZ, M.E.; DALLA SALDA, G.; SCHLICHTER, T.M. silvopastoral systems in Northwestern Patagônia II: water balance and water potential in a stand of Pinus ponderosa and native grassland. *Agroforestry Systems*, v.55, p. 47-55, 2002.
- JANSEN, H.G.P.; IBRAHIM, M.A.; NIEUWENHUYSE, A.; MANNETJE, L.; JOENJE, M.; ABARCA, S. The economics of improved pasture and silvopastoral technologies in the Atlantic Zone of Costa Rica. *Tropical Grasslands*, v.31, p.588-598, 1997.
- KALLENBACH, R.L.; KERLEY, BISHOP-HURLEY, G.J. Cumulative forage production, forage quality and livestock performance from a annual ryegrass and cereal rye mixture in a Pine-Walnut Silvopastoral. *Agroforestry Systems*, v.66, p. 43-53, 2006.
- KANEGAE, M.F.; BRAZ, V.S.; FRANCO, A.C. Efeitos da seca sazonal e disponibilidade de luz na sobrevivência e crescimento de Bowdichia virgilioides em duas fitofisionomias típicas dos Cerrados do Brasil Central, *Revista Brasileira de Botânica*, v.23, n.4, p.459-468, 2000.
- LUDWIG, F.; KROON, H.; BERENDSE; PRINS, H.H.T. The influence of savanna trees on nutrient, water and light availability and the understorey vegetation. *Plant Ecology*, v.170, p.93-105, 2004.
- MACEDO, M.C.M Pastagens no ecossistema cerrados: pesquisas para o desenvolvimento sustentável. In: SIMPÓSIO SOBRE PASTAGENS NOS ECOSISTEMAS BRASILEIROS, 1995, n.32, Brasília. Anais... Brasília: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 1995. p.26.
- MARTHA JÚNIOR, G.B.; VILELA, L. *Pastagens no Cerrado: baixa produtividade pelo uso de fertilizantes*. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2002. 32p.
- MITTAL, S.P.; GREWAL, S.S.; AGNIHOTRI, Y. SUD, A.D. Substitution of nitrogen requirement of maize through leaf biomass of *Leucaena leucocephala*: agronomic and economic considerations. *Agroforestry Systems*, v.19, p. 207-216, 1992.
- NAIR, P.K.R. Directions in tropical agroforestry research: past, present and future. *Agroforestry Systems*, v.38, p. 223-245, 1998.
- NELSON, S.W.; SOMMERS, L.E. Total Carbon, Organic Carbon and Organic Matter. IN: Page, A.L; Miller, R.H. & Keenney, D.R. (eds). *Methods of soil analysis*. 2 ed. Madison: American Society of Agronomy, 1982. v.2, p.535-579.
- NICHOLSON, C.F.; BLAKE, R.W.; REID, R.S.; SCHELHAS, J. Environmental impacts of livestock in the developing world, *Environment*, v.43, n.2, p. 7-17, 2001.
- PARIS, P.; PARIS, Q. Agriculture in the twenty-first century: agronomic and economic perspective. *Agricoltura mediterranea*, v.126, p.113-148, 1996.
- PERON, A.J.; EVANGELISTA, A.R. Degradação de pastagens em região de Cerrado. *Ciência agrotécnica*, v. 28, n.3, p. 655-661, 2004.
- RIGATTO, P.A.; DEDECEK, R.A.; MATTOS, J.L.M. Influência dos atributos do solo sobre a

produtividade de *Pinus taeda*. *Revista Árvore*, v.29, n.5, p.701-709, 2005.

ROBERTSON, J.B., VAN SOEST, P.J. The detergent system of analysis and its application to human foods. In: JAMES, W. P. T., THEANDER, O. (Ed.) *The analysis of dietary fiber in food*. New York: Marcel Dekter, 1982. p. 123-158.

SÁNCHEZ, M.D. Panorama dos sistemas agroflorestais pecuários na América Latina. In: CARVALHO, M.M.; ALVIM, M.J.; CARNEIRO, J.C. (Eds.). *Sistemas agroflorestais pecuários: opções de sustentabilidade para áreas tropicais e subtropicais*. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite; Brasília: FAO, 2001. p.9-17.

SANCHEZ, P.A. Science in agroforestry. *Agroforestry Systems*. V.30, p. 5-55, 1995.

SILVA, S. C. Manejo das plantas forrageiras dos gêneros *Brachiaria*, *Cynodon* e *Setaria*. In: PEIXOTO, A. M.; MOURA, J. C.; FARIA, V. P. (Ed.). *Volúmosos para bovinos*. 2.ed. Piracicaba, SP: FEALQ, 1995. p. 29-57.

SILVA-PANDO, F.J.; GONZÁLEZ-HERNÁNDEZ, M.P.; ROZADOS-LORENZO, M.J. Pasture production in a silvopastoral system in relation with microclimate variables in the atlantic coast of Spain. *Agroforestry Systems*, v.56, p. 203-211, 2002.

STEINFELD, H.; GERBER, P.; WASSENAAR, T.; CASTEL, V., HAAN, C. *Livestock's long shadow: environmental issues and options* [Roma, Itália], 2006. Disponível em <<http://www.virtualcentre.org>> Acesso em 17/12/2006.

TAPIA-CORAL, S.C.; LUIZÃO, F.J.; WANDELLI, E. FERNANDES, E.C.M. Carbon and nutrient stocks in the litter layer of agroforestry systems in central Amazônia, Brazil. *Agroforestry Systems*, v.65, p.33-42, 2005.

TILMAN, D.; CASSMAN, K.G.; MATSON, P.A.; NAYLOR, R.; POLASKY, S. Agriculture sustainability and intensive production practices. *Nature*, v.418, 671-677, 2002.

VAN SOEST, P.J. *Nutritional ecology of the ruminants*. 2.ed. Ithaca: Cornell University Press, 1994. 476p.

VETAAS, R. O. Micro-site effects of trees and shrubs in dry savannas. *Journal of Vegetarian Science*, v. 3, p. 337-344, 1992.

VIANA, V. M.; MAURÍCIO, R. M.; MATTAMACHADO, R.; et al. Manejo de la regeneración natural de especies nativas para la formación de sistemas silvopastoriles en las zonas de bosques secos del sureste de Brasil. *Agroforestería de las Américas*, v. 9, n. 33-34, p. 48-52, 2002.

CAPÍTULO V

Influência de um sistema silvipastoril, estabelecido no bioma Cerrado, sobre o armazenamento de carbono

Influence of a silvopastoral system on carbon stocks in the Brazilian savanna

RESUMO

As mudanças climáticas têm causado adversidades como o aumento de temperatura, maior frequência de enchentes e secas e elevação do nível dos oceanos. O desmatamento resultando em pastagens degradadas é fonte de emissão de gases do efeito estufa (GEE). As árvores nas pastagens, constituindo os sistemas silvipastoris (SSP), possuem o potencial de reduzir as emissões de GEE, pois, como fonte de madeira e por contribuir para a fertilidade do solo, reduzem a pressão por novos desmatamentos que teriam como objetivos obter madeira e novas áreas para introdução de pastagens, além de armazenar C nos tecidos e no solo. Visando avaliar a contribuição das árvores para o armazenamento de C no solo foi conduzido um experimento num SSP em Lagoa Santa /MG. O sistema, com densidade de 160 árvores ha⁻¹, foi desenvolvido em 1984, por meio de regeneração natural da espécie Ipê Felpudo (*Zeyheria tuberculosa* Vell. Bur) nativa do bioma cerrado em consórcio com a *Brachiaria brizantha* cv. Marandu (BBM). Calculou-se a quantidade de C armazenado nas arbóreas, na liteira e na camada de 0-40 cm do solo. Foi verificada maior quantidade de C armazenado nos SSP ao considerar os 2.430,78 kg ha⁻¹ de C armazenados na liteira, 13.995,04 kg ha⁻¹ de C nos tecidos vivos da arbórea e 53.110,60 kg de C ha⁻¹ nos solos, totalizando 69.536,42 kg ha⁻¹ de C em comparação com 61.081,25 kg ha⁻¹ de C encontrado no solo sob a monocultura. O aparente incremento no armazenamento de C pelo SSP demonstra a possibilidade de conciliar a produção animal e a redução de

GEE. Entretanto, seria importante a avaliação de variáveis como outras espécies arbóreas e forrageiras, densidades distintas e consórcio com espécies arbóreas diversas.

PALAVRAS CHAVE: árvores, degradação, desmatamento, pastagens, produtividade, sustentabilidade

ABSTRACT

Climate change has caused adversities as warming global temperatures, elevation of the sea level and more frequent occurrence of floods and droughts. The deforestation process, resulting in degraded pastures, is a source of greenhouse gases (GHG). Trees in pastures, constituting silvopastoral systems (SPS), have the potential to reduce the GHG emissions even through sinking it in the soil, as a wood source and contributing to soil fertility, reducing the pressure for new deforestation that would aim to obtain wood and also to establish new pastures. Aiming to evaluate the trees contribution to carbon sink, an experiment was conducted in Lagoa Santa, Minas Gerais State, Brazil. The system was implemented in 1984, through natural regeneration of pioneer trees, native from the Brazilian savanna, of the species *Zeyheria tuberculosa* Vell. Bur. Tree density was 160 ha⁻¹ and the grass forage chosen was *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. Carbon stocks in the trees, litterfall and 0 to 40 cm soil deep were estimated. Soil C stock in the monoculture was 61.081.25 kg ha⁻¹ of C and, in the consortium, 53.110.60 kg ha⁻¹ of C. The C amount stocked in the SPS's litterfall and in

the trees was 2.430.78 and 13.995.04 kg ha⁻¹, respectively. The total C stocked in the SPS was 69.536.42 kg ha⁻¹. The apparently increase in the SPS C stocks demonstrate the possibility of conciliation between animal production and GHG reduction. However, it is important to evaluate other variables as other trees species and forages, distinct densities, and different trees species consortium.

KEY WORDS: deforestation, degradation, pastures, productivity, sustainability, trees

1. INTRODUÇÃO

A maior parte da emissão dos GEE resulta da queima de combustíveis fósseis e da conversão de florestas em área agrícola (Albrecht e Kandji, 2003). As consequências das ações humanas em relação ao efeito estufa são percebidas a longo prazo: entre 40 a 50 anos. Desta forma, as atitudes que forem tomadas nos próximos 10 a 20 anos surtirão efeito na segunda metade do século XXI e no seguinte. O nível atual de GEE é de 430 mg dm⁻³ de CO₂, consideravelmente superiores aos 280 mg dm⁻³ antes da revolução industrial. Se as emissões atuais forem mantidas estima-se que a temperatura do planeta se eleve em 2 a 3 °C, entretanto há perspectivas de que os níveis de CO₂, em 2050, atinja 550 mg dm⁻³ e continue subindo (STERN...,2006).

O aquecimento causará impactos severos, freqüentemente relacionados à água, como aumento do nível do mar, secas e enchentes intensas. Por estes motivos, estimam-se que, em 2050, 200 milhões de pessoas estariam permanentemente desalojadas. Haveria também redução da produção agrícola, principalmente na África; aumento das mortes causadas por desnutrição e estresse calórico e de doenças como dengue e malária; acidificação dos oceanos pelo aumento da concentração de CO₂ na atmosfera ameaçando os ecossistemas

marinhos. Na Amazônia, haveria secas severas e outras perdas irreparáveis. A maior parte do risco, mas não todo, pode ser reduzido por uma forte política de mitigação, que teria custos bem mais reduzidos comparado aos prejuízos causados pelos impactos. Os custos anuais da estabilização das emissões em 500 a 550 mg dm⁻³ CO₂, em 2050, seriam em torno de 1% do Produto Interno Bruto (PIB). Por outro lado, se não houver atitudes para a redução das emissões, os prejuízos anuais seriam de 5%. À medida que aumenta o aquecimento, a capacidade do planeta de armazenar C reduz. Desta forma, torna-se necessário combater este problema o mais depressa possível (STERN...,2006).

A remoção de carbono (C) da atmosfera e a estocagem em biomas terrestres é uma das propostas para compensar a emissão de GEE (Dixon, 1995). As florestas tropicais são importantes em relação ao ciclo global do C, pois contém mais da metade da biomassa florestal e 20% do C presente no solo (Schwendenmann e Pendall, 2006). Todavia, estima-se que o desmatamento nos trópicos contribua para 20% do aquecimento global e há expectativas de que este percentual aumente (Sanchez, 1995). No Brasil, no período de 1988 a 1994, as emissões líquidas de CO₂ (emissões brutas menos as remoções promovidas pela regeneração dos biomas) causadas pelas mudanças de uso da terra foram estimadas em 722 Tg (Tg =10¹² g ou milhão de toneladas), dos quais os biomas Amazônia e Cerrado foram os mais relevantes, representando, respectivamente, 59 e 26% do total (Fidalgo et al., 2006).

O Cerrado brasileiro cobre uma área aproximada de 200 milhões de hectares e, estima-se que, em 1999, a área queimada neste bioma foi de 19,76 milhões de hectares, quase 10% do total. A queima de biomassa transfere para a atmosfera até 90% do carbono acima da superfície na forma de GEE. Assim, as emissões totais destes gases por meio da queima de biomassa no Cerrado

não-antrópico, em 1999, foram estimadas em 306 Gg (Gg = 10⁹ g ou mil toneladas) de CH₄, 8036 Gg de CO, 3,8 Gg de N₂O e 137,3 Gg de NO_x. As queimadas também provocam um aumento da temperatura do solo, com o conseqüente aumento dos fluxos de CO₂ (Krug et al., 2006). No Cerrado, a biomassa presente nos solos pode igualar ou até superar a biomassa aérea, o que é uma estratégia adaptativa diante das secas e incêndios, comuns no inverno. Diante do grande potencial de armazenar C no solo e da extensão da área, este bioma ganha importância dentro do contexto das mudanças climáticas, pois é o ecossistema brasileiro mais afetado pela expansão da agropecuária, perdendo anualmente 3,4 milhões de hectares. A vegetação nativa tem sido substituída por monoculturas, como a soja, por exemplo, que não possui a mesma capacidade de armazenar carbono no solo (Delitti et al., 2003).

No Cerrado brasileiro, há aproximadamente 49,6 milhões de hectares de pastagens cultivadas formadas principalmente por gramíneas do gênero *Brachiaria* (Martha Júnior e Vilela, 2002) dos quais em torno de 80% destas pastagens encontra-se em algum estágio de degradação (Peron e Evangelista, 2004). O aumento da produtividade, tanto na agricultura quanto na pecuária, pode reduzir a emissão de gases do efeito estufa originados do desmatamento e da degradação das pastagens (Steinfeld et al., 2006). Acredita-se que a introdução de árvores nos sistemas agrícolas tem um enorme potencial de armazenar carbono, o que poderá ser feito por meio dos sistemas agroflorestais. Se estes sistemas fossem introduzidos nas áreas para as quais são recomendados, poderiam armazenar anualmente de 1,1 a 2,2 Pg, que corresponde ao total de 10 a 15% das emissões anuais. Na América do Sul, haveria entre 65 a 1215 milhões de hectares com condições adequadas para implementação de SAF (Dixon, 1995). Não obstante, ressalta-se que o objetivo dos SAF é a produção sustentável

de alimento e o armazenamento de C é apenas uma consequência positiva do aumento da fotossíntese pelas árvores introduzidas e pela redução da pressão por novos desmatamento (Schroeder, 1994).

Buurman et al. (2004) considera que o termo seqüestro indica um processo e não uma situação específica, assim seria mais apropriado utilizar a palavras armazenamento ou estoques. Desta forma, o objetivo desse trabalho é avaliar a influência da arbórea Ipê Felpudo (*Zeyheria tuberculosa* Vell. Bur) sobre o armazenamento de C em um sistema silvipastoril (SSP), uma modalidade de sistema agroflorestal (SAF) que combina árvores, pastagens e animais, no bioma Cerrado.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Caracterização e localização dos sistemas

O experimento foi conduzido em um sistema silvipastoril localizado na fazenda Grota Funda nas seguintes coordenadas geográficas: 19° 35' 36'' Sul, 43° 51' 56'' Oeste; altitude 747m, correspondente ao bioma Cerrado do município de Lagoa Santa, no Estado de Minas Gerais, Brasil. O sistema foi desenvolvido em 1984 por meio de regeneração natural de árvores pioneiras, típicas do bioma Cerrado, da espécie Ipê Felpudo (*Zeyheria tuberculosa* Vell. Bur. - família: Bignoniaceae). Na técnica de roçada seletiva, procurava-se eliminar as espécies não desejadas e manter a espécie arbórea escolhida a distâncias mínimas de 4m. Atualmente, as árvores de Ipê medem aproximadamente entre 15 e 23 m de altura, DAP (diâmetro a altura do peito) de 40 a 60 cm. A densidade adotada foi de 160 árvores ha⁻¹. A escolha da espécie foi feita baseada nos seguintes preceitos: qualidades da madeira, velocidade de crescimento, arquitetura da copa, arquitetura do caule, presença no bioma ao qual pertence à

propriedade e a resistência ao pastejo (Viana et al., 2002). Os solos da localidade são classificados como latossolo vermelho-amarelo e apresentam 651 g kg^{-1} de argila, 211 g kg^{-1} de silte e 138 g kg^{-1} de areia.

A pastagem de BBM foi implantada em substituição a uma pastagem de capim Jaraguá (*Hiparrhenia rufa*), por meio de tração animal com uso de fosfato natural e calcário, estes em quantidades recomendadas a partir de análise prévia dos solos. A área não foi queimada, e sempre foi utilizada como fonte de forragem para os animais. As sementes foram distribuídas manualmente entre as árvores (Viana et al., 2002). Um pasto adjacente ao sistema, implantado com a mesma metodologia, entretanto sem a presença de árvores, foi utilizado como referência. A carga animal (bovinos), em ambas as pastagens, foi ajustada à produção forrageira.

2.2. Coleta dos dados

Com o intuito de estudar-se a ciclagem de nutrientes que ocorre durante um ano no sistema, foi realizada uma estimativa de produção anual do material senescente, proveniente da parte aérea das arbóreas do Ipê Felpudo. Para este fim, foram utilizados quatro coletores (painéis de rede com malha $4 \times 6 \text{ mm}$), distribuídos aleatoriamente na área sob influência das árvores. Cada coletor tinha uma área de 27 m^2 e ficava a $1,5 \text{ m}$ de distância do solo. Durante o ano de 2005, foram realizadas doze coletas em intervalos de 30 dias.

A escolha dos pontos de coleta das amostras de solos para análise química, realizada em fevereiro de 2006, ocorreu conforme a seguinte metodologia: três linhas paralelas foram traçadas, de 40 m de comprimento cada, cortando o centro de cada sistema de forma diagonal. A primeira e terceira diagonais ficavam a 10 m e a 20 m da linha central, respectivamente. Em cada linha, foram coletados três pontos distantes 20 m entre si, totalizando nove pontos de coletas

no sistema silvipastoril e nove pontos fora da sua área de influência, que foi o tratamento controle. Foram coletadas amostras de solo nas profundidades de $0 - 10$, $10 - 20$ e $20 - 40 \text{ cm}$. Em quatro dos nove pontos, sendo três destes na diagonal central, foram coletadas, além das amostras para análise química, amostras indeformadas de solos em anéis volumétricos de $52,69 \text{ cm}^3$ para estudo das propriedades físicas do solo, nas mesmas profundidades citadas anteriormente, totalizando 24 amostras. Nos cinco pontos restantes, coletou-se solo somente para análise química. Ressalta-se que, para todas as amostras, foi coletada a porção de solo compreendida no terço médio de cada profundidade. Seguindo a recomendação de Hamburg (2000), a densidade do solo e a concentração de C foram medidas na mesma amostra.

Com o objetivo de estimar a quantidade de C armazenado nas árvores, foi realizado o corte de seis árvores, consideradas como indivíduos de porte médio do sistema. O diâmetro de altura do peito (DAP) médio do sistema, $57,7 \text{ cm}$, foi calculado após a aferição desta medida em 100 indivíduos do sistema. As árvores foram cortadas a 10 cm de altura e dissecada em tronco ou fuste, galhos e folhas que foram pesados. Assumiu-se que a biomassa das raízes correspondia a 15% da parte aérea (Andrade e Ibrahim, 2003).

2.3. Análises laboratoriais

Após a coleta, a liteira foi classificada em folhas, galhos, frutos e outros (material fracionado, de composição bem variável durante o ano). A liteira foi pesada, pré-secada, em estufa de circulação forçada a $60 \text{ }^\circ\text{C}$ por 72 h e moída a um mm . A composição bromatológica foi analisada de maneira semelhante: matéria seca (MS), matéria mineral (MM) (Compêndio..., 1998), proteína bruta (PB) pela metodologia de Kjeldahl (Cunniff, 1995), cálcio (Ca), fósforo (P) e potássio (K) foram determinados utilizando-se as técnicas de

permanganometria, colorimetria e fotometria de chama, respectivamente. Os teores de lignina foram determinados por meio da imersão direta das amostras, e não do resíduo do FDA em solução de ácido sulfúrico 72% (Robertson & Van Soest, 1981). O valor de matéria orgânica (MO) foi estimado como a diferença entre os valores de MS e MM e o valor de C como 58% da MO para o solo e liteira (Nelson e Sommers, 1982) e como 50% da biomassa para os componentes aéreos (Schroeder, 1994 e Cerri et al., 2004). O percentual de matéria seca e de matéria orgânica dos componentes da árvore foi estimada da mesma forma que a da liteira.

Estas análises bromatológicas ocorreram no Laboratório de Nutrição Animal da Escola de Veterinária da UFMG. As amostras químicas de solos foram analisadas no Laboratório de Análises de Solos da Universidade Federal de Uberlândia/MG, conforme EMBRAPA (1999), e as análises físicas no Laboratório de Água e Solo da Universidade Federal de Viçosa/MG, conforme EMBRAPA (1997).

2.4. Análises estatísticas

As respostas avaliadas foram submetidas aos testes de Lilliefors e Bartlett para verificar normalidade e homocedasticidade, respectivamente.

Os dados da liteira e dos componentes da árvore foram analisados por meio das estimativas de média e erro padrão com o

propósito de mostrar o comportamento das variáveis no sistema silvipastoril. Calculou-se a quantidade de C presente nas árvores ao multiplicar os valores médios presentes no indivíduo pela densidade de árvores do sistema, 160 ha^{-1} .

Em relação aos teores de C no solo, o ensaio foi analisado inteiramente casualizado no arranjo em parcelas subdivididas, com sistema na parcela e profundidade na subparcela. Foi utilizado o teste de SNK para comparar médias. A correlação de Pearson foi utilizada para análise das correlações entre os teores de C e variáveis químicas do solo. Também foram estudados modelos de regressão para os teores de C em função das demais variáveis de solo. Para isso foi utilizado o procedimento backwards.

Obteve-se a quantidade de C armazenada em cada profundidade do solo ao multiplicar entre si os valores do teor de C, da densidade e do número de camadas de 10 cm de solo por cada profundidade avaliada (Buurman et al., 2004).

3. RESULTADOS

Na tabela 1, observam-se características químicas de interesse dos solos dos sistemas avaliados. Os valores de Ca^{+2} e V foram ligeiramente mais elevados no SSP em relação à monocultura, ao passo que o oposto ocorreu para os atributos pH, P, K, Al^{+3} .

Tabela 1 - Atributos químicos, em solo sob sistema silvipastoril (SSP) e monocultura (Lagoa Santa-2006)

Variável	Profundidade (cm)					
	Monocultura			SSP		
	0-10	10-20	20-40	0-10	10-20	20-40
pH (H ₂ O -1:2,5)	4,86±0,22	4,75±0,23	4,75±0,11	4,64±0,28	4,61±0,19	4,64±0,11
fósforo (mg dm ⁻³)	2,57±0,86	1,79±0,75	1,09±0,35	1,89±0,58	1,71±0,33	1,06±0,21
potássio (mg dm ⁻³)	135,87±35,69	70,13±14,72	42,5±17,46	95,63±36,90	82,5±30,26	49,37±35,84
cálcio (cmolc dm ⁻³)	0,67±0,31	0,39±0,19	0,23±0,07	0,76±0,27	0,6±0,17	0,27±0,14
magnésio (cmolc dm ⁻³)	0,59±0,36	0,27±0,24	0,13±0,07	0,56±0,21	0,41±0,13	0,12±0,05
alumínio (cmolc dm ⁻³)	1,74±0,55	2,31±0,33	2,5±0,17	1,71±0,50	1,96±0,28	2,35±0,21
H + Al (cmolc dm ⁻³)	9,5±1,56	10,11±1,41	10,05±0,46	8,9±1,58	8,99±1,11	9,31±0,73
soma de bases (cmolc dm ⁻³)	1,6±0,68	0,84±0,46	0,45±0,14	1,57±0,45	1,22±0,30	0,54±0,17
CTC efetiva (cmolc dm ⁻³)	3,34±0,27	3,13±0,18	2,96±0,09	3,29±0,11	3,17±0,17	2,86±0,15
CTC a pH 7,0 (cmolc dm ⁻³)	11,1±0,96	10,95±1,00	10,51±0,44	10,49±0,49	10,21±0,85	9,85±0,85
saturação por bases (%)	15±7	8±6	4±1	15±6	12±4	6±2

Hidrogênio + Alumínio (H + Al) e capacidade de troca catiônica (CTC)

A contribuição da árvore com a fertilidade do solo por meio da liteira está apresentada na tabela 2. Estima-se que as 160 árvores ha⁻¹ do sistema, durante um ano, acrescentariam à pastagem aproximadamente 4360,20 kg ha⁻¹ de matéria orgânica e 2430,68 kg ha⁻¹ de C. Destacam-se a contribuição de nitrogênio, potássio e cálcio, ao passo que a contribuição de fósforo é reduzida. As relações carbono/nitrogênio e lignina/nitrogênio foram elevadas, respectivamente, 31,10 e 25,16.

Os teores de C nos componentes da liteira apresentaram ligeiras variações durante o ano (tabela 3). São mais reduzidos durante o inverno, exceto para galhos, que, aparentemente, é o componente com maior percentual deste elemento, exceto na primavera.

Tabela 2. Contribuição anual da arbórea Ipê Felpudo (*Zeyheria tuberculosa* Vell. Bur.) para o solo, em macronutrientes e matéria orgânica em um sistema silvipastoril no bioma Cerrado (Lagoa Santa/MG – 2005)

Variável	Composição média	
	da liteira (%)	Kg ha ⁻¹ ano ⁻¹
Matéria Seca total	100	4360,2
Matéria Mineral	3,88 ± 0,94	169,23
Matéria Orgânica	96,12 ± 0,94	4191,0
Carbono	55,74 ± 0,43	2430,78
Cálcio	0,61 ± 0,29	26,5
Fósforo	0,07 ± 0,04	3,2
Nitrogênio	1,79 ± 0,55	78,0
Potássio	0,90 ± 0,59	39,4
Lignina	45,04 ± 8,00	-
Carbono/Nitrogênio	31,10 ± 11,03	-
Lignina/Nitrogênio	25,16 ± 9,46	-

Tabela 3 - Composição média de carbono dos tecidos vegetais de acordo com a estação do ano (Lagoa Santa – 2006)

Tecido	Estação			
	Verão	Outono	Inverno	Primavera
Folhas	55,73 ± 0,22 Ab	55,46 ± 0,03 Ab	54,94 ± 0,97 Ba	55,38 ± 0,19 Ab
Frutos	56,08 ± 0,09 Aab	55,61 ± 0,31 Ab	54,60 ± 0,11 Bb	55,72 ± 0,49 Aab
Galhos	56,46 ± 0,37 Aa	56,28 ± 0,39 ABa	55,93 ± 0,97 ABa	55,78 ± 0,31 Bab
Outros	56,23 ± 0,17 Aab	55,85 ± 0,05 Aab	54,92 ± 0,57 Bb	56,02 ± 0,26 Aa

Médias seguidas de letras distintas, maiúscula na linha e minúscula na coluna, diferem pelo teste SNK ($p < 0,05$)

Os valores da densidade aparente, teores de C e quantidade de C armazenada por hectare estão apresentados na tabela 4. Não houve diferença estatística entre os sistemas e entre as profundidades em relação aos valores da densidade. Os teores de C decresceram com a profundidade em ambos os sistemas e foram mais elevados na pastagem sem

árvores para as profundidades de 0-10 e 20-40 cm. A quantidade de C total foi mais elevada na camada mais superficial, ao passo que não houve diferença nas camadas mais profundas. Aparentemente, a quantidade total armazenada por sistema foi mais elevada na monocultura.

Tabela 4 – Valores médios de densidade, percentual de carbono (C) e total de C por camada ha^{-1} e total de C ha^{-1} , em função de profundidade e tratamento, em solo sob sistema silvipastoril (SSP) e monocultura (mono) (Lagoa Santa/MG-2006)

Sistema de cultivo	Profundidade*	Número Camadas (10cm)	Densidade	C (%)	Total C (kg ha^{-1})
Monocultura	0-10	1	1,15 ± 0,15 Aa	2,18 ± 0,56 Aa	26130,45 Aa
	10-20	1	0,94 ± 0,09 Aa	1,51 ± 0,23 Ab	14772,60 Ac
	20-40	2	0,95 ± 0,03 Aa	1,05 ± 0,07Ac	20178,20 Ab
SSP	0-10	1	1,11 ± 0,11 Aa	1,62 ± 0,14 Ba	19089,25 Ba
	10-20	1	1,11 ± 0,18 Aa	1,37 ± 0,14 Ab	16261,75 Aa
	20-40	2	1,09 ± 0,13Aa	0,81 ± 0,10 Bc	17759,60 Aa
	CV (%)	-	11,77	17,5	16,89

Médias seguidas de letras distintas, maiúscula referente a sistema dentro de profundidade e minúscula na camada de solo dentro do sistema, diferem entre si pelo teste de SNK ($P < 0,05$) *amostras coletadas no terço médio da profundidade

O peso total, percentual de MS e quantidade de C por componente da *Zeyheria tuberculosa* Vell. Bur. Estão representados

na tabela 5. A contribuição maior é por parte do tronco, que pesava em média 99,47kg de matéria natural e 49,73 kg de carbono.

Tabela 5 – Valores médios do peso total, quantidade de carbono e percentual de matéria seca nos troncos, nos galhos e nas folhas da arbórea Ipê Felpudo (*Zeyheria tuberculosa* Vell. Bur.) (Lagoa Santa/MG-2006)

Tecido	Peso total (kg MS)	MS (%)	Peso C (kg)
Tronco	99,47 ± 11,29	64,57 ± 2,32	49,73 ± 5,65
Galho	41,88 ± 13,05	64,57 ± 2,32	20,94 ± 6,52
Folhas	10,78 ± 2,98	51,19 ± 4,19	5,39 ± 1,49

Na tabela 6, estão apresentadas as quantidades totais de C por compartimento em ambos sistemas. A quantidade de C armazenada nas árvores foi estimada em 13.995,04 kg ha⁻¹. Se for adicionado a este

montante a quantidade de C armazenado no solo sob árvores, totalizariam 69.536,42 kg ha⁻¹ de C armazenados neste sistema, ao passo que na monocultura, o total armazenado seria de 61.081,25 kg ha⁻¹ de C.

Tabela 6 – Quantidades médias de carbono em vários compartimentos de um sistema silvipastoril (SSP) e de pastagem de *B. brizantha* cv. Marandu (mono), no bioma Cerrado (Lagoa Santa/MG – 2006)

Compartimento	Mono (kg ha ⁻¹)	SSP (kg ha ⁻¹)
Tronco	-	7.956,80
Galhos	-	3.350,40
Folhas	-	862,40
Total parte aérea	-	12.169,60
Raízes (15% parte aérea)	-	1.825,44
Total árvore	-	13.995,04
Liteira árvores	-	2.430,78
Total Solo	61.081,25	53.110,60
Total sistema	61.081,25	69.536,42

A maioria das variáveis do solo apresentou correlação significativa com os teores de C (tabela 7). Destacam-se as correlações com P, Fe e Mn, todas com magnitude acima de 0,80 e (P<0,01).

Os modelos de regressão para os teores de C em função das demais variáveis de solo, para cada sistema, estão representados na tabela 8. As variáveis de solo que mais influenciaram os teores de C na monocultura foram o V, Fe e Mn, ao passo que, para o SSP, foram o P e o M.

Tabela 7 - Correlações de Pearson entre percentual de carbono e demais entre atributos químicos de solo (Lagoa Santa/MG – 2006)

Variável solo	C solo	Variável solo	C solo
pH	-	CaK	-0,3047 **
Fósforo	0,8662 ***	MgK	-
Potássio	0,7371 ***	Ca Mg K	-
Enxofre	-0,2401 *	Ca T	0,5838 ***
Cálcio	0,6790 ***	Mg / T	0,6955 ***
Magnésio	0,7497 ***	K / T	0,6761 ***
Alumínio	-0,6264 ***	H + Al / T	-0,6980 ***
H + Al	-	Ca + Mg / T	0,6466 ***
soma de bases	0,7819 ***	Ca + Mg + K / T	0,7185 ***
CTC efetivo	0,7515 ***	boro	0,7029 ***
CTC a pH 7,0	0,3887 **	cobre	0,7185 ***
soma por bases	0,7038 ***	ferro	0,8680 ***
saturação por alumínio	-0,7544 ***	manganês	0,8378 ***
Ca / Mg	- 0,5127 ***	zinco	0,7038 ***

-, ***, **, * (teste t: $P > 0,05$; $P < 0,001$; $0,01$; $0,05$, respectivamente) valores de hidrogênio mais alumínio (H+Al), capacidade de troca catiônica (CTC), CTC a pH 7,0 (T), relação entre bases Ca / Mg, relação entre bases e T(%) (Mg / T ; K / T ; H+Al / T ; Ca+Mg / T ; Ca+Mg+K/T)

Tabela 8 - Parâmetros de regressão dos teores de C em função das variáveis de solo sob monocultura (Mono) e sistema silvipastoril (Lagoa Santa/MG – 2006)

Sistema de cultivo	Modelo	R ² ajustado
Monocultura	$0,6714 + 0,0390 V + 0,0027 Fe + 0,0429 Mn$	0,9402
SSP	$1,1870 + 0,4738 P - 0,0103 M$	0,8529

4. DISCUSSÃO

A produção de total de liteira esteve de acordo com a produção da vegetação nativa do Cerrado relatada por Haridasan (2000), entre 3,0 a 7,8 t ha⁻¹ano⁻¹, dependendo do porte das árvores. A liteira apresentou alta correlação C/N e lignina/N, respectivamente 31,10 e 25,16. Buurman et al. (2004) destacou que baixa qualidade da liteira, pH baixo e altos teores de Al⁺³, apesar de indesejáveis sob o ponto de vista

agronômico, favoreceram o armazenamento de C. No presente estudo, os teores de Al⁺³ e C também apresentaram correlação -0,6264 ($P < 0,001$) ao passo que a correlação entre os valores de pH e de C não foi significativa ($P > 0,05$) (tabela 7). As variáveis de solo que mais influenciaram os teores de C foram distintas entre a monocultura e SSP (tabela 8). Para a monocultura, destacaram-se V, Fe e Mn, e para o SSP, P e o m. Assim, diante da variação entre os solos analisados e os relatos da literatura, supõe-se que os fatores

que influenciam os teores de C variam entre sistemas.

Em ambas as pastagens, o percentual de C decresceu com a profundidade (tabela 4). Na monocultura, em relação ao SSP, na camada de 0 – 10 cm, o valor da densidade tendeu a ser mais elevado e o percentual de C foi significativamente maior, o que contribuíram para a diferença estatística nas quantidades de C armazenado nesta profundidade nos sistemas. Em contrapartida, na camada de 20 - 40 cm, apesar da diferença ($P < 0,05$) no teor de C a favor da monocultura, a densidade tendeu a ser mais elevada no SSP, resultando em quantidades semelhantes ($P > 0,05$) de C nesta camada entre os tratamentos. Isto comprova a advertência citada por Buurman et al. (2004) de que a densidade afeta significativamente o cálculo dos estoques de C.

A biomassa do sistema radicular apresenta correlação positiva com a produção de forragem (Oliveira et al. 2003). A produção de BBM foi avaliada por Sousa (2005), no mesmo SSP do presente estudo. Tendo como referência a mesma área controle, este pesquisador concluiu que as condições ambientais prevalentes no sub-bosque do Ipê Felpudo contribuíram para reduzir ($P < 0,05$), em aproximadamente 15%, a produção de matéria seca (média de cinco cortes mensais durante o período chuvoso) da forrageira estudada. Logo, cogita-se que a menor produção de forragem na área sombreada refletiu em menores teores de MO na camada de 0 - 10 e na de 20 - 40 cm, nas quais ocorreram diferença significativa entre sistemas a favor da monocultura, provavelmente onde as raízes da gramínea estão mais ativas e não houve efeito da deposição da liteira pelas árvores. Desta forma, poderia ser interessante um estudo sobre a densidade arbórea, reduzindo-a ligeiramente com o intuito de aumentar a produtividade da gramínea e consequentemente os estoques de C no solo.

Todavia, Delitti et al. (2003) ressaltou que a camada mais superficial do solo apresenta maior variação sazonal no conteúdo de biomassa devido à maior exposição à variáveis climáticas. O trabalho de Schwendenmann e Pendall (2006) no Panamá esclarece que as quantidades de C armazenadas nos pastos e florestas são próximas, principalmente se foram utilizadas espécies forrageiras com grande quantidade de biomassa no sistema radicular.

Por outro lado, Albrecht e Kandji (2003) enfatizam que a substituição de pastagens por arbóreas não necessariamente leva ao aumento automático dos estoques de C. Sanchez (1995) alertou que a matéria orgânica no solo pode funcionar tanto como fonte quanto de armazenamento de C. O desmatamento aumenta as emissões de C da superfície do solo, cuja temperatura se eleva e acelera o processo de decomposição da matéria orgânica. Além disto, conforme Milne e Haynes (2004), o cultivo convencional do solo após o desmatamento aumenta a aeração do solo e promove a quebra de agregados, expondo a matéria orgânica que era protegida fisicamente por agregados ao ataque microbiano.

De acordo com Cerri et al. (2004), esta redução inicial dos montantes de C após o desmatamento é quase universal. Entretanto, o balanço de C após a conversão de florestas em pastos depende da produtividade destes, que é afetada por vários fatores como clima, fertilidade original do solo, intensidade de pastejo. Assim, os pastos podem tanto armazenar C, se forem bem manejados, ou, em caso de superpastejo, serem fonte de C e N para a atmosfera. Em relação à Amazônia, há relatos de aumento de 20 t ha⁻¹ de C na camada de solo de 0-1m e redução de 0,5 t ha⁻¹ de C na camada de 1-8m após a conversão de floresta em pastagens. Desta forma, estima-se que, em função do desmatamento, aproximadamente 50% do C do solo é emitido. Milne e Haynes (2004) relatam o aumento na produção de matéria

seca devido à fertilização e irrigação, resultando no aumento dos teores de matéria orgânica.

Schwendenmann e Pendall (2006) também destacam a importância da pressão de pastejo para o armazenamento de C. Estes autores, concluíram que a conversão de florestas em gramíneas não resultou em perdas de N e de C. A separação dos agregados também revelou que a troca de vegetação não refletiu na estrutura dos agregados. Nos dois usos de solo, em torno de 80% do C e do N estavam associados com macroagregados. Mudanças na estrutura do solo e nos estoques de C provavelmente mudam mais drasticamente se houver, além do uso do solo, pastejo mais intensivo ou lavoura. No presente estudo, tanto na monocultura quanto no SSP eram bem manejadas, o que pode ter contribuído para elevar os teores de C no solo.

Não obstante, aparentemente, a menor quantidade de C armazenada no solo do SSP foi compensada pelo C encontrado no componente arbóreo (tabela 6). Assim, na pastagem solteira de BBM e no SSP, após 22 anos de implantação estão estocados, respectivamente, em torno de 61 e 69 t de C ha⁻¹. Este resultado condiz com os de Sharrow e Ismail (2004). De acordo com estes pesquisadores, os SSP podem armazenar mais C que florestas plantadas ou pastagens de monoculturas, pois produzem maior quantidade de biomassa e ciclagem de nutrientes realizadas tanto pela árvore, quanto pela gramínea. Schroeder (1994) reporta que os montantes de C estocado devido à introdução de SAF variam conforme a região: nove t ha⁻¹ de C em cinco anos em localidades semi-áridas, 21 t ha⁻¹ de C em oito anos nas sub-úmidas e 50 t ha⁻¹ de C em cinco anos nas regiões úmidas.

O C continuará armazenado mesmo após as árvores terem saído do sistema se a madeira for usada em produtos de vida longa. Por outro lado, se as árvores forem usadas como

combustível, a maior parte do C voltará para a atmosfera. Mesmo neste último caso, quando o armazenamento de C parece ser irrisório, a produção de madeira em SAF para matriz energética é interessante, sob a ótica do armazenamento de C, devido à proteção a ecossistemas naturais, conservação do solo e menor uso de combustíveis fósseis (Albrecht e Kandji, 2003). Todavia, a maior parte do C dos galhos, folhas, liteira e da vegetação rasteira retorna para a atmosfera em menos de 10 anos (Shively et al., 2004). O objetivo do armazenamento de C no solo é aumentar o tamanho dos reservatórios de C passivo e de decomposição lenta, pois a maioria do C adicionada ao reservatório ativo será decomposta em menos de dois anos (Schroeder, 1994).

Em relação à arbórea estudada, o tronco, que armazena C por mais tempo, correspondeu a 65,29% do total de C estocado na biomassa aérea, seguido pelos galhos, 27,48% e pelas folhas, 7,23%. Deve-se ressaltar a participação das raízes das arbóreas, no processo de armazenamento de C, é mais elevado no Cerrado em relação a outros biomas. Conforme Haridasan (2000), em torno de 50% da biomassa do Cerrado corresponde à raízes. Em contrapartida, nas florestas tropicais úmidas, este percentual varia entre 2,6 a 4,6 nas florestas primárias e de 11,0 a 19,5 nas secundárias. Delitti et al. (2003) enfatizam que, no Cerrado, a biomassa das raízes varia entre 4 a 16 t ha⁻¹ e pode chegar a superar a biomassa aérea. Conforme Andrade e Ibrahim (2003), o valor desta relação em bosques tropicais varia entre 3,0 a 49,0%, todavia devem ser empregados valores mais conservadores entre 10 a 15%.

Nas árvores, o percentual de C aumenta proporcionalmente à biomassa, até a planta atingir a maturidade, quando atinge um equilíbrio (Shively et al., 2004). Entretanto, há contradições em relação ao armazenamento de C por florestas. Por um

lado, ao ter como foco apenas as plantas vivas, acredita-se que as florestas jovens ou recentemente plantadas armazenariam mais C em relação às florestas mais velhas, pois apresentam crescimento mais rápido, possuem maior taxa de acúmulo de matéria seca e menor quantidade de árvores mortas ou em decomposição. Outra corrente, com uma visão mais holística, entende que, durante o processo de substituição de florestas velhas por novas, há liberação de gases para a atmosfera devido à decomposição de material da floresta mais antiga. Assim, este entendimento global do contexto torna-se essencial, pois deve-se considerar o uso do produto final. Além disto, a fertilidade do solo influencia a quantidade armazenada de carbono por florestas e plantios com mais de uma espécie de árvore são mais eficientes que a monocultura. (Montagnini e Nair, 2004).

No Cerrado, a substituição da vegetação natural, com uma produtividade primária das mais elevadas em savanas (1000 a 2000g m² de MS) por *Brachiaria*, que após cinco anos de implantação produzem em média 200 a 400 g m² de MS), causa a redução dos teores de carbono no solo (Brassard e Barcellos, 2005). O aumento da produtividade, tanto na agricultura quanto na pecuária, pode reduzir a emissão de gases do efeito estufa originados do desmatamento e da degradação das pastagens. Algumas medidas como plantio direto e introdução de sistemas agroflorestais podem armazenar mais de 1,3 toneladas de carbono ha⁻¹ano⁻¹ (Steinfeld et al., 2006).

Mundialmente, os sistemas agroflorestais têm se mostrado promissores para o aumento da produtividade em muitas regiões geográficas, ao promover a incorporação de nutrientes ao sistema, evitar a perda deles e melhorar as condições físicas do solo (Issac et al, 2005). As árvores possuem o potencial de melhorar a produtividade do sistema ao realizar a ciclagem dos nutrientes, reduzir erosão e evapotranspiração das plantas, além

de armazenar C (Dixon, 1995). Entretanto, aparentemente, a *Zeyheria tuberculosa* Vell. Bur influenciou pouco a qualidade do solo (tabela 1), apesar das contribuições de N, P e Ca aferidas na liteira (tabela 2).

A recuperação de áreas degradadas é uma maneira efetiva de estocar C no solo. Há evidências de que não ocorre modificação da quantidade de C armazenado se os biomas naturais forem substituídos por sistemas de produção intensiva. Nestes sistemas, seriam realizadas práticas como a combinação de plantio direto com a utilização de resíduos vegetais, aproveitamento de dejetos animais resultando em alta produtividade e poucas perdas por meio de processos de decomposição, lixiviação e erosão. As árvores dos SAF também melhoram a cobertura do solo além de adicionar carbono a estes por meio de tecidos vegetais. Entretanto, o armazenamento de C no solo é um processo finito e há necessidade de considerar também o óxido nitroso (N₂O) e o metano (CH₄) (Albrecht e Kandji, 2003).

Além da questão das mudanças climáticas, os SSP propiciam outros benefícios ambientais como melhoria da qualidade e quantidade de água, conservação do solo, preservação da biodiversidade, além de proporcionar conforto para os animais (Shrestha e Alavalapati, 2004). Estima-se que um hectare de sistema silvipastoril provê a mesma quantidade de bens e serviços de cinco a 20 ha de áreas desmatadas (Dixon, 1995).

5. CONCLUSÕES

Aparentemente, houve maior quantidade de C armazenado nos SSP em relação à pastagem solteira de BBM, apesar dos teores mais reduzidos de C no solo sob consórcio. Entretanto, o armazenamento de C poderia ser incrementado se houvesse o aperfeiçoamento do SSP por meio da otimização das interações existentes entre os

componentes do sistema. Assim, seria importante pesquisar aspectos como a utilização de espécies arbóreas forrageiras diversas, densidades distintas e consórcio com outras espécies arbóreas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, H.J.; IBRAHIM, M. ¿Cómo monitorar el secuestro de carbono en los sistemas silvipastoriles? *Agroforestería en las Américas*, v.10, n. 39-40, p.109-116, 2003.

ALBRECHT, A.; KANDJI, S.R. Carbon sequestration in tropical Agroforestry systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v.99, p. 15-27, 2003.

BRASSARD, M.; BARCELLOS, A.O. Conversão do Cerrado em pastagens cultivadas e funcionamento de latossolos. *Cadernos de Ciência e tecnologia*, v.22, n.1, p. 153-168, 2005.

BUURMAN, P; IBRAHIM, M; AMÉZQUITA, M C. Mitigation of greenhouse gas emissions by silvopastoral systems: optimism and facts. In: INTERNATIONAL CONGRESS IN AGROFORESTRY SYSTEMS, 2. 2004, Mérida (México)...*Anais*, Mérida: 2004. CD ROM.

CERRI, C.E.P.; PAUSTIAN, K.; BERNOUX, M.; VICTORIA, R.L.; MELILLOS, J.M.; CERRI, C.C. Modeling changes in soil organic matter in Amazon forest to pasture conversion with the Century model. *Global Change Biology*, v.10, p. 815-832, 2004.

COMPÊNDIO brasileiro de alimentação animal: métodos analíticos . Brasília: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1998. 199p.

CUNNIFF, P. *Official methods of analysis of AOAC International*. 16.ed. Arlington: AOAC International, 1995. 1016p.

DELITTI, W.B.C.; PAUSAS, J.G.; BURGER, D.M. Belowground biomass variation in two Neotropical savannahs (Brazilian Cerrados) with different fire histories. *Annual Forest Science*, v.58, p.713-721, 2003.

DIXON, R.K. Agroforestry: sources or sinks of greenhouse gases? *Agroforestry Systems*, v.31, p.99-16, 1995.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. - Brasília, Embrapa produção de Informação; Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 1999. 412 p.

FIDALGO, E.C.C.; PALM, U.W.; OSSES, J.R.; LEITE, F.A.; MEDEIROS, J.S.; TAVARES, R. et al. Emissões e remoções de dióxido de carbono por conversão de florestas e abandono de terras cultivadas. [Brasília, Brasil], 2006. Disponível em: <<http://mct.gov.br/clima>> Acesso em: 10/12/2006.

HAMBURG, S.P. Simple rules for measuring changes in ecosystem carbon in forestry-offset projects. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, v.5, p.25-37, 2000.

HARIDASAN, M. Nutrição mineral de plantas nativas do Cerrado. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, v.12, n.1, p.54-64, 2000.

ISSAC, M.E.; GORDON, A.M.; THEVATHASAN, N.; OPPONG, S.K.; QUASHIE-SAM, J. Temporal changes in soil carbon and nitrogen in west African multistrata agroforestry systems: a consequence of pools and fluxes. *Agroforestry Systems*, v.65, p. 23-31, 2005.

KRUG, T.; FIGUEIREDO, H.B.; SANO, E.E. et al. Emissões de gases de efeito estufa da queima de biomassa no Cerrado não-antrópico utilizando dados orbitais [Brasília, Brasil], 2006. Disponível em: <<http://mct.gov.br/clima>> Acesso em: 10/12/2006.

MARTHA JÚNIOR, G.B.; VILELA, L. *Pastagens no Cerrado: baixa produtividade pelo uso de fertilizantes*. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2002. 32p.

- MILNE, R. M.; HAYNES, R. J. Soil organic matter, microbial properties, and aggregate stability under annual and perennial pastures. *Biological fertil soils*, v.39, p.172-178, 2004.
- MONTAGNINI, F.; NAIR, P.K.R. Carbon sequestration: an underexploited environmental benefit of agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, v.61, p.281-295, 2004.
- NELSON, S.W.; SOMMERS, L.E. Total Carbon, Organic Carbon and Organic Matter. IN: Page, A.L; Miller, R.H. & Keeney, D.R. (eds). *Methods of soil analysis*. 2 ed. Madison: American Society of Agronomy, 1982. v.2, p.535-579.
- OLIVEIRA, P. P. A., TRIVELIN, P. C. O. e OLIVEIRA, W. S. Eficiência da fertilização nitrogenada com uréia (¹⁵N) em *Brachiaria brizantha* cv. Marandu associada ao parcelamento de superfosfato simples e cloreto de potássio. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, v.27, n.4, p. 613-620. 2003.
- ROBERTSON, J.B., VAN SOEST, P.J. The detergent system of analysis and its application to human foods. In: JAMES, W. P. T., THEANDER, O. (Ed.) *The analysis of dietary fiber in food*. New York: Marcel Dekter, 1982. p. 123-158.
- PERON, A.J.; EVANGELISTA, A.R. Degradação de pastagens em região de Cerrado. *Ciência agrotécnica*, v. 28, n.3, p. 655-661, 2004.
- SANCHEZ, P.A. Science in agroforestry. *Agroforestry Systems*. V.30, p. 5-55, 1995.
- SCHROEDER, P. Carbon storage benefits of agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, v.27, p.89-97, 1994.
- SCHWENDENMANN, L.; PENDALL, E. Effects of forest conversion into grassland on soil aggregate structure and carbon storage in Panama: evidence from soil carbon fractionation and stable isotopes. *Plant and soil*, v.288, 217-232, 2006.
- SHARROW, S.H.; ISMAIL, S. Carbon and nitrogen storage in agroforests, tree plantation, and pastures in western Oregon, USA, *Agroforestry Systems*, v. 60, p.123-130, 2004.
- SHIVELY, G.E.; ZELEK, C.A.; MIDMORE, D.J.; NISSEN, T.M. Carbon sequestration in a tropical landscape: an economic model to measure its increment cost. *Agroforestry Systems*, v.60, 189-197, 2004.
- SHRESTHA, R.K; ALAVALAPATI, J.R.R. Valuing environmental services of silvopasture practice: a case study of the Lake Okeechobee watershed in Florida. *Ecological Economics*, v.49, p.349-359, 2004.
- STEINFELD, H.; GERBER, P.; WASSENAAR, T.; CASTEL, V., HAAN, C. Livestock's long shadow: environmental issues and options [Roma, Itália], 2006. Disponível em <<http://www.virtualcentre.org>> Acesso em 17/12/2006.
- SOUSA, L.F. Produtividade e valor nutritivo do Braquiaraõ (*Brachiaria brizantha* cv. Marandu) em sistemas silvipastoris. 2005. 68f. Dissertação (Mestrado em Nutrição Animal) – Escola de Veterinária – Universidade Federal de Minas Gerais: Belo Horizonte, MG, Brasil.
- STERN REVIEW: The economics of climate change [s.l.]: [s.n.], 2006. Disponível em <http://www.hm-treasury.gov.uk/independent_reviews/stern_review_economics_climate_change/stern_review_report.cfm> Acesso em 31/10/2006.
- VIANA, V. M.; MAURÍCIO, R. M.; MATTAMACHADO, R.; et al.. Manejo de la regeneración natural de especies nativas para la formación de sistemas silvipastoriles en las zonas de bosques secos del sureste de Brasil. *Agroforestería de las Américas.*, v. 9, n. 33-34, p. 48-52, 2002.

CONCLUSÕES GERAIS

Em relação a uma pastagem bem manejada, a espécie arbórea do sistema estudado, nesta densidade, influenciou a fertilidade do solo principalmente em relação à acidez do solo, tais como aumento do pH, cálcio (Ca^{+2}), magnésio (Mg^{+2}) e saturação por bases, e redução de alumínio (Al), na camada superficial e/ou no sistema. Em relação aos teores dos outros macronutrientes no solo, não houve influência das árvores, apesar do potencial das arbóreas em aumentar a disponibilidade de fósforo (P). Isto pode ter ocorrido devido às altas relações (carbono/nitrogênio) C/N e lignina/N. Os atributos físicos foram ligeiramente afetados e ambos os sistemas foram eficientes na manutenção da estrutura física do solo. No período e na densidade estudada, a presença do Ipê Felpudo em pastagens de BBM não prejudicou a produção de matéria seca (MS) da forrageira, durante um período típico de veranico. As árvores aparentemente amenizaram o estresse hídrico da forrageira e influenciou na composição mineral desta. Não houve alteração dos componentes fibrosos, entretanto, as arbóreas contribuíram para melhorar os aspectos nutricionais da forragem ao incrementar os níveis de proteína bruta (PB). Assim, o sistema silvipastoril demonstrou o potencial de ser uma alternativa opção sustentável de produção animal. O SSP demonstrou o potencial de armazenar maior quantidade de C em relação às pastagens.