



# 8. Pastagens degradadas e recuperadas: emissão ou resgate de gás carbônico

Domingos Sávio Campos Paciullo<sup>1,\*</sup>

Carlos Renato Tavares de Castro<sup>1</sup>

Luiz Gustavo Ribeiro Pereira<sup>1</sup>

Carlos Augusto de Miranda Gomide<sup>1</sup>

Marcelo Dias Müller<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Embrapa Gado de Leite – Rua Eugênio do Nascimento, 610, Dom Bosco, Juiz de Fora, MG

\* Email para contato: [domingos.paciullo@embrapa.br](mailto:domingos.paciullo@embrapa.br)

## 1. Introdução

Apesar da reconhecida importância da agropecuária brasileira na produção de alimentos e geração de renda, atualmente muito se discute sobre o impacto ambiental das atividades pecuárias. Além dos baixos índices zootécnicos, verificados em sistemas de ex-

---

*A degradação das áreas se iniciou após a eliminação gradativa da vegetação original de floresta para a implantação de cultivos agrícolas e/ou atividades pecuárias, e se acentuou com o uso inadequado das pastagens.*

---

ploração animal baseados em pastagens degradadas, tal crítica tem sido fundamentada nas perdas de solo associadas ao processo de erosão e na geração de quantidades significativas de gases de efeito estufa (GEE), entre eles o dióxido de carbono,

o metano e o óxido nitroso.

A degradação das áreas se iniciou após a eliminação gra-

dativa da vegetação original de floresta para a implantação de cultivos agrícolas e/ou atividades pecuárias, e se acentuou com o uso inadequado das pastagens. No Brasil, as pastagens cultivadas de gramíneas tiveram grande expansão entre as décadas de setenta e noventa, principalmente com o plantio de espécies do gênero *Brachiaria* com predominância de *B. decumbens* e *B. brizantha*. Essas pastagens foram formadas, na maioria das vezes, em solos de baixa fertilidade natural, o que contribuiu para o avanço do processo de degradação observado poucos anos após o estabelecimento. A degradação das pastagens é um problema que ocorre em extensas áreas; estima-se que cerca de 60 milhões de ha dos 100 milhões de pastagens cultivadas existentes no Brasil estejam degradados ou em processo de degradação (Macedo, 2009).

Sabe-se que pastagens produtivas e manejadas adequadamente, além de propiciarem condições favoráveis para aumentos significativos no desempenho animal, também podem absorver grande parte do carbono emitido pela atividade, tornando-se um componente importante no balanço de GEE na pecuária. Por isso, o investimento na recuperação de pastagens degradadas é uma estratégia impor-

tante para mitigação de impactos negativos do setor agropecuário. Atualmente, a recuperação de pastagens degradadas é uma prática oficialmente reconhecida como uma das alternativas para redução das emissões de GEE pela agropecuária. O governo se comprometeu a recuperar 15 milhões de ha de áreas de pastagens degradadas, o que reduziria de 83 a 104 milhões de toneladas de CO<sub>2eq</sub>.

Serão discutidos neste trabalho aspectos da degradação de pastagens, suas consequências para emissão de GEE e alguns impactos positivos que a recuperação de pastagens degradadas poderiam gerar, com ênfase no sequestro e armazen-

amento de carbono. O texto traz também comentários sobre os benefícios do uso de sistemas silvipastoris como forma de recuperação de pastagens e produção animal sustentável, trazendo evidências da contribuição dessa tecnologia para o resgate de CO<sub>2</sub>.

## **2. A degradação de pastagens no Brasil**

A degradação de pastagens é o fator mais importante, na atualidade, que compromete a sustentabilidade da produção animal, sendo um processo dinâmico de queda relativa da produtividade. Dentre os fatores relacionados

---

*A degradação de pastagens é o fator mais importante, na atualidade, que compromete a sustentabilidade da produção animal, sendo um processo dinâmico de queda relativa da produtividade.*

---

com a degradação das pastagens, destacam-se o manejo animal inadequado e a falta de reposição de nutrientes. A taxa de lotação excessiva, sem os ajustes para uma adequada capacidade de suporte, e a ausência de adubação de manutenção têm sido os aceleradores do processo de degradação (Macedo *et al.*, 2012).

Segundo Dias-Filho (2005), a degradação pode ser inicialmente caracterizada apenas pela mudança na composição botânica da pastagem, em decorrência do aumento na proporção de plantas daninhas e da consequente diminuição na proporção de capim. Do ponto de vista ecológico, esse tipo de degradação da pastagem nada mais seria do que a evolução do processo de sucessão secundária, isto é, mudança na composição botânica devido à recolonização da área por plantas oriundas do banco de sementes e propágulo do solo. Nesse caso, não haveria, necessariamente, a perda de capacidade do solo em promover e sustentar o acúmulo e biomassa vegetal (acumular carbono), que, em certos casos, pode até aumentar na pastagem tida como degradada, ou em degradação, em relação à pastagem original. Por outro lado, o mesmo autor descreve que a degradação da pastagem pode ser caracterizada também pela intensa diminuição da biomassa vegetal da área, provocada pela degradação do solo, que, por diversas razões de natureza química, física ou biológica, estaria perdendo a capacidade de sustentar a

produção vegetal significativa. A redução da produção de forragem trará como consequência a queda contínua na capacidade de suporte da pastagem, tendo reflexos negativos para a produção animal. Portanto, o primeiro problema associado à degradação de pastagens é a baixa eficiência zootécnica dos sistemas de produção animal, a qual coloca em risco a viabilidade econômica do sistema.

Ao lado da ineficiência zootécnica, estão os problemas ambientais decorrentes da degradação de pastagens, especialmente aqueles decorrentes da emissão de gases de efeito estufa. Dados obtidos em diferentes sistemas de uso do solo indicaram que pastagens degradadas estabelecidas em solos de baixa fertilidade apresentaram perdas de carbono (C) da ordem de 1,53 Mg/ha/ano. Em contrapartida, pastagens implementadas em solos férteis mostraram acúmulo médio de C de 0,46 t/ha/ano (Carvalho *et al.*, 2010). Portanto, as pastagens podem funcionar como fonte ou sumidouro de carbono atmosférico, dependendo do manejo adotado (Ruggieri *et al.*, 2011).

### **3. Emissões de gases de efeito estufa provenientes de atividades agropecuárias**

#### **3.1. Emissões de CO<sub>2</sub>**

Nos países de clima temperado, a maior fonte de CO<sub>2</sub> é a oxidação de

combustíveis fósseis (veículos, sistemas de aquecimento e de refrigeração, indústrias), que geram os maiores volumes globais anuais de CO<sub>2</sub>. Nos países de clima tropical, as emissões de CO<sub>2</sub> são provenientes principalmente da mudança do uso da terra, em particular da conversão de florestas para o uso agropecuário (Ruggieri *et al.*, 2011). Nesse caso, a liberação de CO<sub>2</sub> ocorre durante as queimadas e durante o revolvimento do solo, com entrada de oxigênio, que permite a mineralização ou a oxidação da matéria orgânica (Primavesi *et al.*, 2007). De fato, em anos recentes, os desmatamentos de áreas da Floresta Amazônica, do Cerrado e da Mata Atlântica foram seguidos, predominantemente, pelo estabelecimento de pastagens de gramíneas introduzidas da África, principalmente do gênero *Brachiaria* (Jantalia *et al.*, 2006a). O processo de desmatamento diminui o estoque de carbono do solo, sendo a perda proporcional ao nível de perturbação durante esse processo. Em revisão sobre o assunto, Ruggieri *et al.* (2011) afirmaram que os relatos na

---

*Nos países de clima tropical, as emissões de CO<sub>2</sub> são provenientes principalmente da mudança do uso da terra, em particular da conversão de florestas para o uso agropecuário.*

---

---

*O processo de desmatamento diminui o estoque de carbono do solo, sendo a perda proporcional ao nível de perturbação durante esse processo.*

---

literatura em relação à alteração do conteúdo de carbono no solo decorrente da substituição do ecossistema natural por pastagem ainda são contraditórios. Diferenças em relação aos tipos de ecossistemas naturais

substituídos, tipo de solo, produção de biomassa da gramínea, clima, manejo da pastagem, dentre outros, condicionam o padrão de variação da matéria orgânica do solo, podendo aumentar ou diminuir o seu conteúdo. Por exemplo, alguns anos após a implantação

das pastagens, os estoques de carbono no solo podem aumentar, com possibilidade de até superar o estoque originalmente presente sob a vegetação nativa, desde que a pastagem receba manejo

adequado, o que implica que não haja deficiência de nutrientes e que seja respeitada a capacidade de suporte do pasto (Jantalia *et al.*, 2006a). Em condições de manejo inadequado, as pastagens podem se tornar fonte de CO<sub>2</sub>. Carvalho *et al.* (2010) verificaram que pastagens degradadas estabelecidas em solos de baixa fertilidade apresentaram perdas de C da ordem de 1,53 Mg/ha/ano.

### 3.2. Metano e óxido nitroso e suas relações com a atividade pecuária

Além do CO<sub>2</sub>, outros dois gases são relacionados às atividades agropecuárias: o metano (CH<sub>4</sub>) e o óxido nitroso (NO<sub>2</sub>). O gás metano apresenta potencial de aquecimento global 25 vezes maior que o CO<sub>2</sub> e tempo de vida na atmosfera de 9 a 15 anos, sendo sua taxa de crescimento anual de 7,0% (IPCC, 2006). A produção de metano resulta da fermentação anaeróbica da matéria orgânica em ambientes alagados, campos de arroz cultivados por irrigação de inundação, fermentação entérica, tratamento anaeróbico de resíduos animais e queima de biomassa.

O metano produzido em sistemas de produção de bovinos origina-se, principalmente, da fermentação entérica (85 a 90%), sendo o restante produzido a partir dos dejetos desses animais. Do metano produzido por fermentação entérica no rúmen, 95% é excretado por eructação, e daquele produzido no trato digestivo posterior, 89% é excretado via respiração, e aproximadamente 1% pelo ânus (Murray *et al.*, 1976). O metano derivado da fermentação entérica de ruminantes representa cerca de ¼ das emissões antropogênicas desse gás (Wuebbles e Hayhoe, 2002).

---

*O gás metano apresenta potencial de aquecimento global 25 vezes maior que o CO<sub>2</sub>.*

---

---

*Bovinos produzem de 150 a 420 litros de CH<sub>4</sub> por dia. A Índia e o Brasil lideram o ranking mundial de emissão total de metano entérico.*

---

Bovinos produzem de 150 a 420 litros de CH<sub>4</sub> por dia e ovinos, de 25 a 55 L/dia (Holter e Young, 1992; McAllister *et al.*, 1996), o que corresponde a emissões anuais de 39,1 a 109,5 kg e de 6,5 a 14,4 kg, respectivamente. A Índia e o Brasil lideram o *ranking* mundial de emissão total de metano entérico, com 14,5 e 10,3 Tg de CH<sub>4</sub>/ano, respectivamente. Quando é considerada apenas a emissão por bovinos, o Brasil é apontado como o maior emissor (9,6 Tg de CH<sub>4</sub>/ano), seguido da Índia (8,6 Tg de CH<sub>4</sub>/ano) e dos Estados Unidos da América (5,1 Tg de CH<sub>4</sub>/ano) (Thorpe, 2009). Segundo resultados preliminares do Segundo Inventário Nacional de Emissões de GEE (MCT, 2009), no ano de 2005 a agropecuária foi responsável por 22% do total das emissões de metano no Brasil.

Além de ser caracterizado como um importante GEE, o metano de origem entérica tem relação direta com a eficiência da fermentação ruminal em virtude da perda de carbono e, consequentemente, perda de energia, influenciando o desempenho animal (Cotton e Pielke, 1995; Bell *et al.*, 2011). O conhecimento dos mecanismos de síntese de metano e os fatores que afetam sua

produção são importantes. O desafio no sistema produtivo de ruminantes é desenvolver dietas e estratégias de manejo que minimizem a produção relativa de metano (metano/kg de leite, carne ou lã), possibilitando maior eficiência produtiva e redução da contribuição negativa da pecuária para o aquecimento global.

O óxido nitroso é considerado um dos três mais importantes gases de efeito estufa do planeta. A nitrificação e a desnitrificação são os processos que dão origem às emissões de  $N_2O$  do solo. Os fatores envolvidos nos processos de nitrificação e desnitrificação e na difusão de gases do solo estão bem discutidos por Jantalia *et al.* (2006b). Em relação à pecuária, as emissões são decorrentes principalmente da deposição de dejetos de animais em pastagem, embora o uso de fertilizantes em pastagem, os resíduos de colheita, dentre outros, contribuam para a emissão de  $N_2O$ .

#### **4. Recuperação e manejo adequado de pastagens: estratégias para aumentar o estoque de C**

O investimento na recuperação de pastagens degradadas é uma estratégia

---

*O óxido nitroso é considerado um dos três mais importantes gases de efeito estufa do planeta.*

---

---

*As práticas de manejo adotadas, entre elas a intensidade de pastejo utilizada, é que fará da pastagem um dreno ou uma fonte de C.*

---

importante para mitigação de impactos negativos do setor agropecuário. De acordo com o relatório da FAO (2006), as pastagens (nativas e cultivadas) representam

a segunda maior fonte potencial global de sequestro de C, com capacidade de drenar da atmosfera 1,7 bilhão de toneladas por ano, ficando atrás somente das florestas, cuja capacidade estimada chega a 2 bilhões de C por ano. De forma geral, o uso de práticas de manejo adequadas em pastagens possibilita o

acúmulo de C no solo a uma taxa de 0,3 Mg/ha/ano (IPCC, 2000), o que corresponde aproximadamente à mitigação de 1,1 Mg  $CO_2$  equivalente/ha/ano. Esse valor, bastante conservador, seria suficiente para anular

cerca de 80% da emissão anual de metano de um bovino de corte adulto, estimada em 57 kg (IPCC, 1996), que equivale a 1,42 Mg $CO_2$  (57 kg de  $CH_4$ /ano x 25 potencial de aquecimento global do gás = 1,42 Mg $CO_{2eq}$ ).

É importante salientar que a pastagem per si não se constitui dreno de C. As práticas de manejo adotadas, entre elas a intensidade de pastejo utilizada, é que fará da pastagem um dreno ou uma fonte de C (Carvalho *et al.*, 2010). Por exemplo, Wolf *et al.* (2011) estudaram

o potencial de áreas de pastagem para o sequestro de C. Verificaram que o uso de taxas de lotação animal acima da capacidade de suporte da pastagem resultou em superpastejo e propiciou perdas de C do sistema. Os autores afirmaram que, devido ao superpastejo, o C sequestrado durante a época chuvosa não foi suficiente para compensar as perdas de C durante a época seca do ano. Nesse caso, o ecossistema de pastagem se tornou uma fonte de C para a atmosfera. Os autores concluíram que a redução na taxa de lotação para ajustar à capacidade de suporte do pasto seria uma medida fundamental para reverter o processo de perda de C e degradação do sistema. Outro exemplo interessante foi apresentado por Carvalho *et al.* (2011). Os autores relataram que, numa escala temporal de 10 anos, pastos manejados com excesso de lotação animal se constituíram em fonte emissora a partir do terceiro ano, enquanto pastos conduzidos com lota-

ções moderadas incrementaram seus estoques de C de forma contínua ao longo de 10 anos.

De forma mais detalhada, os dados extraídos do trabalho de Conant *et al.* (2001) indicam valores potenciais de algumas práticas de manejo capazes de aumentar a taxa de sequestro de C (Tab. 1). Enquanto a fertilização e o manejo do pastejo contribuiriam para o sequestro de C, a taxas de aproximadamente 0,30 a 0,35 Mg/ha/ano, a introdução de gramíneas melhoradas, com elevado potencial de produção e bom valor nutricional, em substituição a outras menos produtivas e/ou em algum estágio de degradação da pastagem, poderia contribuir para o sequestro de até 3,04 Mg/ha/ano, sendo essa a prática individual mais promissora para aumentar as taxas de sequestro de C.

Trabalhos desenvolvidos por Amézquita *et al.* (2010), na Colômbia e na Costa Rica, comparando o esto-

**Tabela 1. Práticas de manejo associadas às pastagens com potencial de aumento nas taxas de sequestro de carbono no solo**

Prática de manejo	Taxa de sequestro de carbono (Mg/ha/ano)
Fertilização	0,30
Manejo do pastejo	0,35
Irrigação	0,11
Introdução de gramíneas melhoradas	3,04
Introdução de leguminosas	0,75

Fonte: Adaptado de Conant *et al.* (2001).

que de C no solo em diferentes sistemas de uso do solo, demonstraram o potencial de pastagens adequadamente manejadas, para o sequestro e armazenamento de C (Tab.

2). Por exemplo, pastagens exclusivas de *Brachiaria brizantha* e *B. decumbens* apresentaram valores 40 e 47% maiores no estoque de C do que pastagens degradadas. Nesses estudos, os autores verificaram que a introdução de leguminosas em consorciação com gramíneas foi uma estratégia ainda mais promissora para incrementar o sequestro de C em pastagens. Na Costa Rica, o estoque de C em pastagens constituídas de *B. brizantha* em consórcio com *Arachis pintoi* foi aproximadamente 80% maior que aquele encontrado na pastagem degradada (Tab. 2). Outro exemplo do benefício do consórcio para o sequestro de C pode ser verificado em um trabalho

**Potencial de pastagens  
adequadamente  
manejadas, para  
o sequestro e  
armazenamento de C.**

desenvolvido no extremo sul da Bahia, durante nove anos. O objetivo foi comparar pastagens exclusivas de *B. humidicola* com pastagens de *B. humidicola* consorciadas

com a leguminosa *Desmodium ovalifolium* (Tarré et al., 2001). Os resultados demonstraram que, até a profundidade de 30 cm, houve maior acúmulo de C no solo sob as pastagens consorciadas quando comparadas ao monocultivo. Os autores estimaram que, em média, a taxa de acumulação de C no solo sob as pastagens consorciadas foi de 1,17 Mg/ha/ano, sendo esse valor praticamente o dobro daquele observado na monocultura (0,66 Mg/ha/ano).

Portanto, pastagens produtivas e manejadas adequadamente, além de propiciarem condições favoráveis para aumentos significativos no desempenho animal, também podem absorver gran-

**Tabela 2. Carbono (Mg/ha) no solo, na biomassa da pastagem (parte aérea e raízes) e total, conforme o sistema de uso da terra, em regiões da Costa Rica e da Colômbia**

Sistema	C solo	C pastagem	C total
<b>Sistemas de produção da Costa Rica</b>			
B. brizantha + A. pintoi	181	3,0	184,0
SSP (A. mangium + A. pintoi)	165	5,4	170,4
B. brizantha	138	3,4	141,4
Pastagem degradada	95	5,4	100,4
<b>Sistemas de produção da Colômbia</b>			
B. decumbens	136	9,1	145,1
Pastagem degradada	97	1,6	98,6

Fonte: Adaptado de Amézquita et al. (2010).



de parte do C emitido pela atividade, tornando-se um componente importante no balanço de GEE na pecuária.

## 5. Sistemas silvipastoris: oportunidade para a recuperação de pastagens degradadas e o aumento do sequestro de CO<sub>2</sub>

Os sistemas agrossilvipastoris representam uma alternativa interessante para recuperação de pastagens degradadas e para melhoria da eficiência do uso dos recursos naturais, financeiros, de mão de obra, equipamentos, entre outros.

De acordo com suas características, os sistemas têm sido classificados de diferentes maneiras, tais como: lavoura-pecuária ou agropastoril; lavoura-pecuária-floresta ou agrossilvipastoril; pecuária-floresta ou silvipastoril e lavoura-floresta ou silviagrícola.

Esses sistemas possibilitam a intensificação da produção por meio do manejo integrado dos recursos naturais, evitando sua degradação (Sousa *et al.*, 2010; Paciullo *et al.*, 2011; 2014). Alguns benefícios atribuídos ao uso desses sistemas são: a) aumento da biodiversidade, ou seja, da variedade de organismos vivos habitantes da área em que forem implantados; b) melhoria das

propriedades físicas e químicas do solo; c) contribuição para a conservação do solo por proporcionarem maior controle da erosão; d) melhoria do conforto térmico para os animais, ao fornecerem sombra para o gado e proporcionarem um ambiente com temperatura mais amena; e) melhoria do valor nutricional da forragem para os animais; d) possibilidade de suplementação alimentar para os animais por meio do pastejo, ou fornecimento no cocho, da forragem produzida pelas árvores e arbustos; e) obtenção de mais de um produto comercializável na mesma área (leite/car-

ne + cultura agrícola + madeira), possibilitando aumento e diversificação da renda do produtor.

Ao lado desses benefícios, muito tem se discutido recentemente sobre os mecanismos de compensação para as atividades ambientais positivas geradas em sistemas agrossilvipastoris,

por essa ser uma estratégia poderosa para mitigar os processos negativos associados à pecuária na América tropical. Murgueitio *et al.* (2011) destacaram, dentre outros processos ecológicos, a mitigação de gases de efeito estufa, principalmente dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) e óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), como um benefício potencial derivado de sistemas agrossilvipastoris.

---

*Os sistemas agrossilvipastoris representam uma alternativa interessante para recuperação de pastagens degradadas e para melhoria da eficiência do uso dos recursos naturais.*

---

De acordo com projeções recentes, a área mundial plantada com sistemas agrossilvipastoris aumentará substancialmente em um futuro próximo. Sem dúvida, isso terá um grande impacto sobre o armazenamento e o fluxo de C em um longo prazo na biosfera terrestre (Dixon, 1993). Agroecossistemas desempenham um papel central no ciclo global de C e contêm aproximadamente 12% de C terrestre do mundo (Dixon *et al.*, 1994).

Embora os sistemas agrossilvipastoris possam envolver práticas que favorecem a emissão de GEE, incluindo a agricultura itinerante, uso da adubação nitrogenada, entre outras (Dixon, 1993; Le Mer; Roger, 2001), vários estudos têm mostrado que a inclusão de árvores em áreas agrícolas e pecuárias, em geral, melhora a produtividade dos sistemas, oferecendo oportunidades para aumentar o sequestro de C (Dixon *et al.*, 1993; Montagnini e Nair, 2004; Ibrahim *et al.*, 2007; Andrade *et al.*, 2008). Além disso, os sistemas agrossilvipastoris podem ter um efeito indireto no sequestro de C, na medida em que contribuem para reduzir a pressão sobre as florestas naturais, que são o maior sumidouro de C terrestre (Montagnini e Nair, 2004). Dentro de regiões tropicais, estima-se que um

---

*Em sistemas silvipastoris, o sequestro de carbono envolve primariamente a captura do CO<sub>2</sub> atmosférico durante a fotossíntese e a transferência do C fixado para o armazenamento.*

---

hectare de sistema agroflorestal manejado adequadamente poderia potencialmente compensar 5 a 20 hectares de desmatamento (Dixon *et al.*, 1993).

Em sistemas silvipastoris, o sequestro de carbono envolve primariamente a captura do CO<sub>2</sub> atmosférico durante a

fotossíntese e a transferência do C fixado para o armazenamento, tanto acima quanto abaixo do solo. Acima do solo, o C é fixado em caules e folhas de árvores e plantas herbáceas, enquanto abaixo do solo é fixado em raízes, organismos do solo, além do C estocado em diferentes horizontes do solo (Nair, 2011). Com base na hipótese de que a incorporação de árvores em áreas de pastagens poderia resultar em maior quantidade líquida de C estocado (Haile *et al.*, 2008), acredita-se que sistemas silvipastoris apresentam maior potencial para sequestrar C que monocultivos de pastagens ou culturas agrícolas.

O aumento no estoque de C em um determinado período é simplesmente o primeiro passo. Em sistemas agrossilvipastoris, o sequestro de C é um processo dinâmico que pode ser dividido em várias fases. Durante o estabelecimento, muitos sistemas podem tornar-se fonte de gases, pelas perdas de C e N da vegetação e do solo. Segue-se um período de

rápida acumulação, quando toneladas de C são armazenadas em caules, folhas, raízes e solo. Na fase de colheita das árvores, uma consideração importante se refere ao uso da biomassa arbórea em sistemas silvipastoris. Se as árvores colhidas são usadas como madeira para produção de móveis e construções, o C estará fixado por longo período. Por outro lado, o sequestro pode ser de curto período se as árvores são queimadas ou destinadas à produção de papel. O sequestro efetivo somente pode ser considerado se o balanço líquido positivo de C ocorre após várias décadas, em relação ao estoque inicial (Albrecht e Kandji, 2003).

O aumento no estoque de matéria orgânica do solo é proveniente do sequestro de C atmosférico, via fotossíntese, sendo, do ponto de vista ambiental, muito importante na mitigação da emissão de gases do efeito estufa (Lal, 2002). O entendimento da dinâmica da matéria orgânica no solo somente ocorrerá

em estudos que levem em consideração o tempo, pois a evolução dos seus teores no solo e as respectivas interações decorrentes das práticas de manejo adotadas tendem a ser lentas. Um exemplo do benefício de leguminosas arbóreas em pastagem de *Brachiaria decumbens* submetida ao pastejo de bovinos leiteiros foi apresentado nos trabalhos de Castro *et al.* (2009) e Paciullo *et al.* (2011). O sistema silvipastoril foi implantado no início da década de 1990, com o objetivo de verificar o efeito de leguminosas arbóreas nas características de pastagens degradadas em áreas montanhosas da região Sudeste (Carvalho *et al.*, 2001). Os dados obtidos após 13 anos de implantação do sistema silvipastoril indicaram aumentos significativos nos teores de MO e de vários nutrientes do solo, com reflexos positivos na massa de forragem, à medida que se aumentou a percentagem de cobertura arbórea na pastagem (Tab. 3). Esses resultados evidenciam que a inclusão do componente

**Tabela 3. Características do solo e do pasto de *B. decumbens* após 13 anos de manejo, sob três condições de cobertura por leguminosas arbóreas**

Característica	Cobertura por leguminosas arbóreas (%)		
	0	20	30
K (mg/dm <sup>3</sup> )	30,6	35,0	47,6
P (mg/dm <sup>3</sup> )	1,87	2,90	5,20
MO (%)	1,70	2,10	2,53
CTC efetiva (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	1,25	1,45	1,86
CTC potencial (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	5,60	6,87	7,53
Massa de forragem (kg/ha)	1.595	2.051	3.139

Fonte: Adaptado de Castro *et al.* (2009) e Paciullo *et al.* (2011).

arbóreo, constituído por leguminosas, pode contribuir para o aumento do sequestro de carbono no solo sob pastagens de gramíneas, além de que ajuda na recuperação e persistência de pastagens de *B. decumbens* em áreas montanhosas.

O trabalho de Müller *et al.* (2009) objetivou estimar o estoque de biomassa e carbono em um sistema silvipastoril misto com *Eucalyptus grandis* e *Acacia mangium*, implantado na Zona da Mata mineira. O sistema apresentava uma densidade de árvores de 105 plantas por hectare, sendo 60 árvores de eucalipto e 45 árvores de acácia. Foi quantificado o volume do fuste das árvores aos 10 anos de idade, e a biomassa residual média da pastagem, durante o período de 4 anos. Os resultados obtidos evidenciaram a grande contribuição do componente arbóreo no armazenamento de C (Tab. 4). Outros estudos

---

*Estudos demonstram a vantagem comparativa para o sequestro e armazenamento de C de sistemas silvipastoris quando comparados ao cultivo de gramíneas em sistema de monocultura.*

---

semelhantes demonstram a vantagem comparativa para o sequestro e armazenamento de C de sistemas silvipastoris quando comparados ao cultivo de gramíneas em sistema de monocultura (Sharrow e Ismail, 2004; Kaur *et al.*, 2002).

## 6. Considerações finais

A produção pecuária brasileira é baseada em pastagens que se encontram em grande parte em processo de degradação. Nesse cenário, os níveis de produtividade do pasto e do animal são baixos, e as emissões de gases de efeito estufa têm se destacado, principalmente quando se avalia a relação entre a quantidade de produto animal por unidade de equivalente carbono emitido. Nesse contexto, um dos grandes desafios da agropecuária é manter a produção de alimentos em níveis tais que sus-

**Tabela 4. Biomassa total e carbono estocados (Mg/ha) no fuste das árvores de *Eucalyptus grandis* e *Acacia mangium* e na parte aérea do pasto, aos 10 anos de estabelecimento do sistema**

Característica	Biomassa total	Carbono
	<b>Sistema silvipastoril</b>	
Eucalipto	24,81	11,17
A. Mangium	6,93	3,12
B. decumbens	1,28	0,58
Total	33,02	14,87

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

tentem uma população em crescimento sem, com isso, contribuir para aumentar a degradação do meio ambiente.

O aumento na eficiência dos processos vem sendo uma preocupação crescente em todos os sistemas de produção agropecuários. É provável que a agropecuária seja cada vez mais afetada pelas imposições de limitações nas emissões de carbono e pela legislação ambiental. A tendência ou obrigação legal de mitigar as emissões de gases de efeito estufa influenciará diretamente a necessidade de aumento da eficiência zootécnica nos sistemas pecuários, atrelado ao manejo nutricional dos animais a ser adotado. O desenvolvimento de estratégias de mitigação e a viabilidade da aplicação prática dessas estratégias são áreas atuais de pesquisa em todo o mundo. Informações sobre sequestro de carbono e emissão de metano e óxido nitroso em sistemas de produção pecuária ainda são escassas. Não obstante, a prática de recuperação de pastagens degradadas, a adequação no manejo das pastagens e o uso de sistemas agrossilvipastoris representam alternativas com potencial para mitigar gases de efeito estufa, além de trazerem benefícios para o aumento da eficiência produtiva dos sistemas pecuários.

## 7. Referências bibliográficas

1. AMÉZQUITA, M.C.; MURGUEITIO, E.; IBRAHIM, M.; et al. Carbon sequestration in pasture and silvopastoral systems compared with native forests in ecosystems of tropical America. IN: Grassland carbon sequestration: management, policy and economics. FAO. 2010.
2. ALBRECHT, A.; KANDJI, S.T. Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 99, p.15-27, 2003.
3. ANDRADE, E.J.; BROOK, R.; IBRAHIM, M. Growth, production and carbon sequestration of silvopastoral systems with native timber species in the dry lowlands of Costa Rica. *Plant and Soil*, v.30, p.11-22, 2008.
4. BELL, M.J.; WALL, E.; SIMM, G.; RUSSEL, G. Effects of genetic line and feeding system on methane from dairy systems. *Animal Feed Science Technology*, 166-167, p. 699-707, 2011.
5. CARVALHO, J.L.N.; RAUCCI, G.S.; CERRI, C.E.P. et al. Impact of pasture, agricultura and crop-livestock systems on soil C stocks in Brazil. *Soil & Tillage Research*, v.110, p.175-186, 2010.
6. CARVALHO, M. M. Contribuição dos sistemas silvipastoris para a sustentabilidade da atividade leiteira. In: SIMPÓSIO SOBRE SUSTENTABILIDADE DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE LEITE A PASTO E EM CONFINAMENTO. 3., 2001, Juiz de Fora. Anais... Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2001. p. 85-108.
7. CARVALHO, P.C.F.; ANGHINONI, I.; MORAES, A. et al. Managing grazing animals to achieve nutrient cycling and soil improvement in no-till integrated systems. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v.88, p.259-273, 2010.
8. CARVALHO, P.C.F.; NABINGER, C.; LEMAIRE, G. et al. Challenges and opportunities for livestock production in natural pastures: the case of Brazilian Pampa Biome. In: FELDMAN, S.R.; OLIVA, G.E.; SACIDO, M.B. (Org.). *International Rangeland Congress – Diverse rangelands for a sustainable society*. Rosario. 2011, p.9-15.
9. CASTRO, C.R.T.; PACIULLO, D.S.C.; GOMIDE, C.A.M. et al. Características agrônomicas, massa de forragem e valor nutritivo de *Brachiaria decumbens* em sistema silvipastoril. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v.60, p.19-25, 2009.
10. COTTON, W.R.; PIELKE, R.A. *Human impacts on weather and climate*. Cambridge: Cambridge University, 1995, 288p.
11. CONANT, R.T.; PAUSTIAN, K.; ELLIOTT, E.T.

- Grassland management and conversion into grassland: effects on soil carbon. *Ecological Application*, v.11, p.343-355, 2001.
12. DIAS-FILHO, M.B. Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação. 2 ed. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2005.173p.
  13. DIXON, R.K; WIMJUM, J.K; LEE, J.J. et al. Integrated systems: assessing of promising agroforest and alternative land-useland-use practices to enhance carbon conservation and sequestration. *Climate Change*, v.30, p.1–23, 1994.
  14. DIXON, R.K; WINJUM, J.K; SCHROEDER, P.E. Conservation and sequestration of carbon: the potential of forest and agro-forest management practices. *Global Environmental Change*, v.2, p.159–173, 1993.
  15. FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. *Livestock's long shadow: environmental issues and options*. Roma: FAO, 2006. 391p. Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/010/a0701e/a0701e00.HTM>. Acesso em: 12 out. 2009.
  16. HAILE, S.G; NAIR, P.K.R.; NAIR, V.D. Carbon storage of diferent soil-size fractions in Florida silvopastoral systems. *Journal Environmental Quality*, 37:1789–1797, 2008.
  17. HOLTER, J.B.; YOUNG, A.J. Methane production in dry and lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, n.75, p.2165-2175, 1992.
  18. IBRAHIM, M.; CHACÓN, M.; CUARTAS, C. Almacenamiento de carbono en el suelo y la biomasa arbórea en sistemas de usos de la tierra en paisajes ganaderos de Colombia, Costa Rica y Nicaragua. *Agroforestería en las Américas*, n.45, 2007.
  19. IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. Emissions from livestock and manure management. In: Eggleston, H. S.; Buendia, L.; Miwa, K.; Ngara, T.; Tabane, K. (eds). IPCC Guidelines for nacional greenhouse gas inventories. Hayama: IGES, 2006. chap. 10, p. 747-846.
  20. IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. Land use, land use change and forestry. A special report of the IPCC. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press, 2000. Disponível em: [http://www1.ipcc.ch/ipccreports/sres/land\\_use/index.htm](http://www1.ipcc.ch/ipccreports/sres/land_use/index.htm). Acesso em: 05 fev. 2010.
  21. IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. Revised IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories: reference manual. Cambridge: University Press, 1996. 297p. Disponível em: <http://www1.ipcc.ch/ipccreports/>. Acesso em: 05 fev. 2010.
  22. JANTALIA, C.P.; TARRÉ, R.M.; MACEDO, R.O. et al. Acumulação de carbono no solo em pastagens de *Brachiaria*. In: ALVES, B.J.R., URQUIAGA, S., AITA, C. et al. Manejo de sistemas agrícolas: impacto no sequestro de C e nas emissões de gases de efeito estufa. Porto alegre: Genesis, 2006a. p.157-170.
  23. JANTALIA, C.P.; ZOTARELLI, L.; SANTOS, H.P. et al. Em busca da mitigação da produção de óxido nitroso em sistemas agrícolas: avaliação de práticas usadas na produção de grãos no sul do país. In: ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S.; AITA, C. et al. Manejo de sistemas agrícolas: impacto no sequestro de C e nas emissões de gases de efeito estufa. Porto alegre: Genesis, 2006b. p.81-108.
  24. LAL, R. The potential of soils of the tropics to sequester carbon and mitigate the greenhouse effect. *Advances in Agronomy*, 74:155-192, 2002.
  25. MACEDO, M.C.M. Integração lavoura e pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.38, p.133-146, 2009.
  26. MACEDO, M.C.M.; ARAÚJO, A.R. Sistemas de integração lavoura-pecuária: alternativas para recuperação de pastagens degradadas. In: BUNGENSTAB, D.J. (Ed.). *Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta: a produção sustentável*. 2 ed. Brasília, DF: Embrapa, 2012. p.27-48.
  27. MCALLISTER, T.A.; BAE, H. D.; JONE, G. A. et al. Microbial attachment and feed digestion in the rumen. *Journal of Animal Science*. 72, 3004-3018, 1994.
  28. MCT – Ministério da Ciência e Tecnologia. Inventário Brasileiro das Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa. Informações Gerais e Valores Preliminares, 2009. Disponível em: Acesso em: <http://www.mct.gov.br>. Acesso em: 18 fev. 2010.
  29. MONTAGNINI, F.; NAIR, P.K.R. Carbon sequestration: An under exploited environmental benefit of agroforestrys ystems. *Agroforestry Systems*, v.61, p.281–295, 2004.
  30. MÜLLER, M.; FERNANDES, E.N.; CASTRO, C.R.T. et al. Estimativa do acúmulo de biomassa e carbono em sistema agrossilvipastoril na Zona da

- Mara Mineira. Pesquisa Florestal Brasileira, v.60, p.11-17, 2009.
31. MURGUEITIO, E. Sistemas Agroflorestales para la Producción Gandra en Colombia. In: POMAREDA C., STEINFELD, H. (Ed.). In: Intensificación de la ganadería en centro américa – beneficios económicos y ambientales. San José, Costa Rica: CATIE/ FAO/SIDE, 2000. p. 219-242.
  32. MURRAY, R. M.; BRYANT, A. M.; LENG, R. A. Rates of production of methane in the rumen and large intestines of sheep. *British Journal Nutrition*, v.36, p.1-14, 1976.
  33. NAIR, P. K. R. Carbon sequestration studies in agroforestry systems: a reality-check. *Agroforestry Systems*, v.86, p.243-253, 2011.
  34. PACIULLO D.S.C.; CASTRO, C.R.T.; GOMIDE, C.A.M. et al. Performance of dairy heifers in a silvopastoral system. *Livestock Science*, v.141, p.166-172, 2011.
  35. PACIULLO, D.S.C.; PIRES, M.F.A.; AROEIRA, L.J.M. et al. Sward characteristics and performance of dairy cows in organic grass-legume pastures shaded by tropical trees. *Animal*, v.8, p.1264-1271, 2014.
  36. PACIULLO, D.S.C.; CASTRO, C.R.T.; MULLER, M.D. et al. Fertilidad del suelo y biomasa de forraje en pasturas manejadas con diferentes coberturas arbóreas. In: CONGRESO FORESTAL DE CUBA. S. 2011, Anais... Habana: Instituto de Investigaciones Forestais, 2011. Sp. 1 CD.
  37. PRIMAVESI, O.; ARZABE, C.; PEDREIRA, M.S. Aquecimento global e mudanças climáticas: uma visão integrada tropical. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2007. 213p.
  38. RUGIERRI, A.C.; BRITO, L.F.; MAGALHÃES, M.A. et al. O pasto como mitigador de gases de efeito estufa na atividade pecuária. In: EVANGELISTA, A.R., BERNARDES, T.F., CHIZOTTI, F.H.M. et al. As forragens e suas relações com o solo, ambiente e o animal. Lavras: UFLA, 2011. p.53-77.
  39. SHARROW, S.H.; ISMAIL, S. Carbon and nitrogen storage in agroforests, tree plantations and pastures in western Oregon, USA. *Agroforestry Systems*, v. 60, p. 123-130, 2004.
  40. SOUSA, L.F.; MAURÍCIO, R.M.; MOREIRA, G.R. et al. Nutritional evaluation of “Braquiarião” grass in association with “Aroeira” trees in a silvopastoral system. **Agroforestry Systems**, v.79, p.179-189, 2010.
  41. TARRÉ, R.; MACEDO, R.; CANTARUTTI, R.B. et al. The effect of the presence of a forage legume on nitrogen and carbono levels in soil under Brachiaria pastures in the Atlantic forest region of the South of Bahia, Brazil. **Plant and Soil**, v.234, p.15-26, 2001.
  42. THORPE, A. Enteric fermentation and ruminant eructation: the role (and control?) of methane in the climate change debate. *Climatic change*. 93, 407-431, 2009.
  43. TSUKAMOTO FILHO, A.A. Fixação de carbono em um sistema agroflorestal com eucalipto na região do cerrado de Minas Gerais. 2003. 98 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
  44. WUEBBLES, D. J.; HAYHOE, K. Atmospheric methane and global change. *Earth-Science Review*, 57, 177–210, 2002.
  45. WOLF, S.; EUGSTER, W.; POTVIN, C. et al. Carbon sequestration potential of tropical pasture compared with afforestation in Panama. *Global Change Biology*, v.17, p.2763-2780, 2011.