

Cadernos Técnicos de

ISSN 1676-6024

# VETERINÁRIA e ZOOTECNIA

Nº 74 - SETEMBRO DE 2014

## As Mudanças Climáticas e o Setor Agropecuário



Fundação de Estudo e  
Pesquisa em Medicina  
Veterinária e Zootecnia  
FEPMVZ Editora

Conselho Regional de  
Medicina Veterinária do  
Estado de Minas Gerais  
CRMV-MG



**Conselho Regional de Medicina Veterinária do Estado de Minas Gerais**

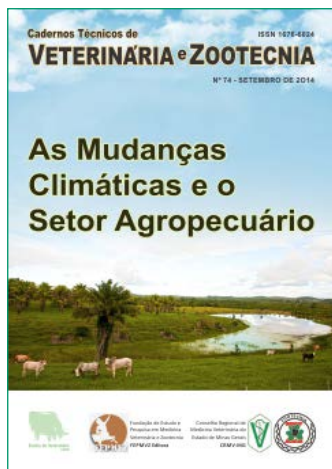
## **PROJETO DE EDUCAÇÃO CONTINUADA**

É o CRMV-MG participando do processo de atualização técnica dos profissionais e levando informações da melhor qualidade a todos os colegas.



**VALORIZAÇÃO PROFISSIONAL**  
compromisso com você

[www.crmvmg.org.br](http://www.crmvmg.org.br)



## Editorial

Caros colegas,

A Escola de Veterinária e o Conselho Regional de Medicina Veterinária de Minas Gerais, frente aos desafios da mudança do clima, trazem nesta edição informações sobre a contribuição da agropecuária na emissão dos gases promotores do efeito estufa e a sua potencialidade de fixação de carbono.

Discussões dessa natureza vêm sendo aprofundadas na medida em que as consequências da emissão dos gases do efeito estufa afetam à sociedade.

Um número expressivo de estudos evidencia que a mudança do clima é uma realidade e que a sociedade precisa rever os seus padrões de consumo e dos modelos atuais de desenvolvimento.

Os inventários sobre as emissões dos gases que promovem o efeito estufa colocam o setor agropecuário como um dos principais emissores desses gases e que há necessidade de tecnologias para mitigar os impactos provocados por essas emissões.

Com este Cadernos Técnicos espera-se que essas informações contribuam com as ações dos profissionais das ciências agrárias e produção animal no dia a dia e adotem as tecnologias que reduzam a emissão e amplie a fixação do carbono.

*Prof. Antonio de Pinho Marques Junior*

*Editor-Chefe do Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia (ABMVZ) - CRMV-MG nº 0918*

*Prof. José Aurélio Garcia Bergmann*

*Diretor da Escola de Veterinária da UFMG - CRMV-MG nº 1372*

*Prof. Marcos Bryan Heinemann*

*Editor do Cadernos Técnicos de Veterinária e Zootecnia - CRMV-MG nº 8451*

*Prof. Nivaldo da Silva*

*Presidente do CRMV-MG - CRMV-MG nº 0747*

**Universidade Federal  
de Minas Gerais**

**Escola de Veterinária**

Fundação de Estudo e Pesquisa em  
Medicina Veterinária e Zootecnia  
- FEPMVZ Editora

**Conselho Regional de  
Medicina Veterinária do  
Estado de Minas Gerais  
- CRMV-MG**

[www.vet.ufmg.br/editora](http://www.vet.ufmg.br/editora)

Correspondência:

**FEPMVZ Editora**

Caixa Postal 567

30161-970 - Belo Horizonte - MG

Telefone: (31) 3409-2042

E-mail:

[editora.vet.ufmg@gmail.com](mailto:editora.vet.ufmg@gmail.com)

**Conselho Regional de Medicina Veterinária do Estado de Minas Gerais  
- CRMV-MG**

**Presidente:**

Prof. Nivaldo da Silva

E-mail: [crmvmg@crmvmg.org.br](mailto:crmvmg@crmvmg.org.br)

**CADERNOS TÉCNICOS DE  
VETERINÁRIA E ZOOTECNIA**

**Edição da FEPMVZ Editora em convênio com o CRMV-MG**

**Fundação de Estudo e Pesquisa em Medicina Veterinária e  
Zootecnia - FEPMVZ**

**Editor da FEPMVZ Editora:**

Prof. Antônio de Pinho Marques Junior

**Editor do Cadernos Técnicos de Veterinária e Zootecnia:**

Prof. Marcos Bryan Heinemann

**Editor convidado para esta edição:**

Prof. Adauto Ferreira Barcelos

**Revisora autônoma:**

Angela Mara Leite Drumond

**Tiragem desta edição:**

10.100 exemplares

**Layout e editoração:**

Soluções Criativas em Comunicação Ltda.

**Impressão:**

O Lutador

**Permite-se a reprodução total ou parcial,  
sem consulta prévia, desde que seja citada a fonte.**

Cadernos Técnicos de Veterinária e Zootecnia. (Cadernos Técnicos da Escola de Veterinária da UFMG)

N.1- 1986 - Belo Horizonte, Centro de Extensão da Escola de Veterinária da UFMG, 1986-1998.

N.24-28 1998-1999 - Belo Horizonte, Fundação de Ensino e Pesquisa em Medicina Veterinária e Zootecnia, FEP MVZ Editora, 1998-1999

v. ilustr. 23cm

N.29- 1999- Belo Horizonte, Fundação de Ensino e Pesquisa em Medicina Veterinária e Zootecnia, FEP MVZ Editora, 1999-Periodicidade irregular.

1. Medicina Veterinária - Periódicos. 2. Produção Animal - Periódicos. 3. Produtos de Origem Animal, Tecnologia e Inspeção - Periódicos. 4. Extensão Rural - Periódicos.

I. FEP MVZ Editora, ed.

## Prefácio

*Adauto Ferreira Barcelos - CRMV-MG 0127/Z<sup>1</sup>*

*João Ricardo Albanez - CRMV-MG 0378/Z<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> *Pesquisador da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais - EPAMIG*

<sup>2</sup> *Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado de Minas Gerais – EMATER-MG*

O grande desafio da agropecuária brasileira, neste século, é a produção de alimentos de forma sustentável em todos os aspectos, principalmente os relacionados ao uso dos recursos naturais. Nesse sentido a pecuária tem sido considerada vilã devido à produção de gases de efeito estufa produzidos pelos ruminantes e pelos resíduos orgânicos dos animais (monogástricos e ruminantes). Isso é devido a intensificação e especialização da produção animal para atender a crescente demanda da população por proteína de origem animal. É importante que os produtores rurais, principalmente os pecuaristas, tenham consciência de que suas atividades podem afetar negativamente o meio ambiente, mas ao mesmo tempo devem ser mitigados senão sanadas. Assim as instituições de pesquisa têm se empenhado em criar ou adaptar soluções tecnológicas que minimizem e/ou resolvam estas questões ambientais, como manejo de dejetos sólidos e efluentes, manejo das unidades produtivas de produção animal e manejo das pastagens. A expectativa é que a adoção dessas tecnologias evite a degradação da vegetação e do solo, usando sistemas de Integração Lavoura Pecuária e Floresta e ou a recuperação das pastagens para aumentar o sequestro de carbono. Com a recuperação e maior produção das pastagens, a maior

oferta de alimento volumoso pode, por exemplo, antecipar a idade de abate dos bovinos de corte reduzindo o lançamento de metano ao ambiente. Com relação a nutrição dos ruminantes, o uso de aditivos e de alimentos adequados, bem como a manipulação da flora microbiana podem melhorar a eficiência ruminal e reduzir as emissões dos gases promotores do efeito estufa.

Nesta edição dos Cadernos Técnicos é abordado temas sobre a mitigação dos efeitos da pecuária na mudança do clima, envolvendo a produção de gases de efeito estufa produzidos pelas atividades pecuárias. Atentos a esses problemas busca-se nesta edição apresentar soluções para a questão e entregar aos nossos profissionais da área de produção animal ferramentas para orientar os pecuaristas sobre como minimizar os impactos negativos da produção animal e praticar uma pecuária compatível com as atuais exigências ambientais.

# Sumário

## **1 - As Mudanças Climáticas e o Setor Agropecuário.....9**

*João Ricardo Albanez (CRMV-MG 0378/Z)*

*Ana Cláudia Pinheiro Albanez (CREA-MG 33233)*

*Apresentação de parte do relatório do IPCC quanto a emissão dos gases promotores do efeito estufa provenientes dos ruminantes.*

## **2 - Fisiologia da digestão dos ruminantes .....25**

*Clenderson Corradi de Mattos Gonçalves (CRMV-MG 1070/Z)*

*Adauto Ferreira Barcelos (CRMV-MG 0127/Z)*

*A fisiologia da digestão dos ruminantes é importante para entender a produção de metano ao nível de rúmen e de trato intestinal.*

## **3 - Redução da emissão de metano pelos ruminantes: o papel de aditivos, fatores nutricionais e alimentos .....44**

*Heloisa Carneiro (CRMV-MG 0512/Z)*

*Marcio Roberto Silva (CRMV-MG 5558)*

*Letícia Scafutto de Faria*

*Apresentação dos aditivos e os alimentos que contribuem para a redução da emissão de metano nos ruminantes.*

## **4 - Melhoria da eficiência ruminal: Inoculação de bactérias.....60**

*Heloisa Carneiro (CRMV-MG 0512/Z)*

*Marcio Roberto Silva (CRMV-MG 5558)*

*Ernesto Vega Canizares*

*Letícia Scafutto de Faria*

*Gabrielle Dantas Sampedro*

*Melhorar a eficiência alimentar nos ruminantes por meio de inoculação de bactérias pode reduzir a produção de metano por estes animais.*

## **5 - Manejo ambiental de unidades de produção animal.....78**

*Julio Cesar Pascale Palhares (CRMV-SP 01961/Z)*

*Correto manejo de unidades produtivas de produção animal pode mitigar a emissão de gases promotores de efeito estufa.*

**6 - Alternativas econômicas na utilização dos dejetos sólidos e efluentes da pecuária .....95**

*Renata Soares Serafim (CRMV-SP 02321)*

*Diferentes formas de utilização dos efluentes produzidos pela bovinocultura, a sua viabilidade econômica na redução da emissão de gases promotores do efeito estufa.*

**7 - Emissão de gases de efeito estufa pela pecuária e ação mitigadora da integração lavoura pecuária .....112**

*Domingos Sávio Queiroz (CRMV-MG 0387/Z)*

*Maria Celuta Machado Viana*

*Regis Pereira Venturin (CREA-MG 58691/D)*

*Edilane Aparecida Silva (CRMV-MG 0962/Z)*

*Leonardo de Oliveira Fernandes (CRMV-MG 0803/Z)*

*José Reinaldo Mendes Ruas (CRMV-MG 1356)*

*João Vitor Franco de Souza*

*Sistema de Integração Lavoura Pecuária como meio de remoção de gás carbônico.*

**8 - Pastagens degradadas e recuperadas: emissão ou resgate de gás carbônico .....134**

*Domingos Sávio Campos Paciullo (CREA-MG 72570/D)*

*Carlos Renato Tavares de Castro (CREA-MG 48078/D)*

*Luiz Gustavo Ribeiro Pereira (CREA-MG 5930)*

*Carlos Augusto de Miranda Gomide (CREA-MG 80992/D)*

*Marcelo Dias Müller (CREA-MG 79709/D)*

*Pastagens bem formadas aumenta o ganho na remoção de gás carbônico com a redução no tempo de abate.*



# 1. As Mudanças Climáticas e o Setor Agropecuário



João Ricardo Albanez<sup>1,2,\*</sup> – CRMV-MG: 0378/Z

Ana Cláudia Miranda Pinheiro Albanez<sup>3,4,\*\*</sup> – CREA: 33233

<sup>1</sup> Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado de Minas Gerais – EMATER-MG

<sup>2</sup> Zootecnista. MSc.

\* Email para contato: [joao.albanez@agricultura.mg.gov.br](mailto:joao.albanez@agricultura.mg.gov.br)

<sup>3</sup> Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado de Minas Gerais – EMATER-MG

<sup>4</sup> Engenheira Agrônoma. M.Sc.

\*\* Email para contato: [aclaudia@emater.mg.gov.br](mailto:aclaudia@emater.mg.gov.br)

## 1. Introdução

O crescimento populacional, o aumento da expectativa de vida, a maior e melhor distribuição de renda e o aumento da demanda por alimentos de qualidade levam ao mundo o desafio de responder ao aumento do consumo de alimento produzido com sustentabilidade.

*O crescimento populacional, o aumento da expectativa de vida, a maior e melhor distribuição de renda e o aumento da demanda por alimentos de qualidade levam ao mundo o desafio de responder ao aumento do consumo de alimento produzido com sustentabilidade.*

Este será o grande desafio dos agricultores nas próximas décadas: fornecer à sociedade alimentos nutritivos, funcionais e saudáveis, em quantidade, qualidade e preços acessíveis, produzidos com uso inteligente da tecnologia e dos recursos naturais, e que possam remunerar de

forma justa e adequada o seu trabalho.

É previsível uma demanda crescente por tecnologias, figurando como fator preponderante, para a redução do custo de produção e aumento da produtividade. A expansão da produção deve ser função dos ganhos em produtividade em áreas subutilizadas; portanto, sem supressão de vegetação nativa.

Além desses desafios, os agricultores terão de conviver com a intensificação das mudanças climáticas que certamente provocará adequação nos modelos de produção agropecuária.

Os Gases de Efeito Estufa (GEE) são responsáveis por um aquecimento anormal da temperatura do planeta. Apesar das divergências de vários países, a Organização das Nações Unidas (ONU) tem trabalhado na perspectiva de que, caso as emissões não sejam controladas e reduzidas, efeitos, como maior incidência de secas, derretimento de geleiras, aumento do nível do mar e até intensificação de surtos epidemiológicos, sairão do controle ainda neste século.

As lideranças mundiais, diante desse cenário catastrófico, vêm promovendo várias reuniões na busca de ações ordenadas para a redução da emissão dos GEE. O Brasil, em 2009, comprometeu-se, voluntariamente, na 15ª Conferência das Partes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (COP 15), a reduzir as emissões nacionais de gases causa-

dores do efeito estufa em 36,1% a 38,9% até 2020, em relação ao que poluiria se nada fosse feito. Ou seja, o Estado brasileiro irá conter a emissão de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e outros similares na próxima década, adotando ações para que as emissões fiquem menores.

Nas últimas décadas, com o desenvolvimento das tecnologias da agricultura tropical, o país vem contribuindo significativamente na produção de alimentos em escala mundial. Comparando apenas os dados da produção de grãos de 2000 com 2013, constata-se um ganho de 125% na produção do país. Saímos de uma produção de 83 milhões de toneladas para 186,9 milhões de toneladas. Esse salto pode ser aferido pelo aumento da participação brasileira no mercado internacional de grãos, que passou de 4,4% para 8,2% da produção mundial, representando um incremento de 103,9 milhões de toneladas no período analisado. Mesmo com essa expressiva contribuição da agricultura brasileira, a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) confere ainda aos produtores brasileiros a missão de fornecer 40% da demanda suplementar de alimentos nas próximas duas décadas, ou seja, produzir mais 100 milhões de toneladas de grãos.

Há também uma expectativa crescente do aumento do consumo de proteína de origem animal no Brasil. O Ministério da Agricultura, Pecuária e

Abastecimento (MAPA) projeta um incremento no consumo de leite, de carnes bovina, suína e de frango na ordem de 20%, 42,8%, 18,8% e 26,1%, respectivamente. Dessa forma, a pressão nos recursos naturais para atender a essa demanda de alimentos será crescente.

O Brasil assumiu o compromisso com a produção sustentável. Além das ações de responsabilidade socioambiental, mostra que o setor agropecuário é capaz de atender parte da demanda mundial de alimentos e reduzir em 22,5% a emissão de GEE. Esse será um grande desafio para toda a cadeia produtiva, bem como para a sociedade, que terá de avaliar seu modelo de consumo e pagar pelo custo da adoção das tecnologias de produção sustentável e pelos serviços ambientais.

## 2. A pecuária em Minas Gerais

O agronegócio tem uma participação efetiva na economia do Estado, em torno de um terço do Produto Interno Bruto e, nos últimos dez anos, vem contribuindo com uma média anual de 36,7% do saldo da balança comercial mineira.

A estimativa para 2014 é de que R\$150,6

*O Brasil assumiu o compromisso com a produção sustentável. O setor agropecuário é capaz de atender parte da demanda mundial de alimentos e reduzir a emissão de GEE.*

bilhões de reais sejam gerados no agronegócio, e o setor da pecuária será responsável por 48,5% desse valor (Barros, 2014), sendo subdivididos em vários segmentos: insumos (7%), agroindústria (9%), básico (54%) e

distribuição (30%). A pujança do segmento básico (dentro da porteira) é em função da diversidade e da quantidade de espécies domésticas (Tab. 1); conseqüentemente, há uma comercialização de animais vivos e seus respectivos produtos que gera riquezas aos pecuaristas.

Esse rebanho efetivo está distribuído em quase um terço do território mineiro (Tab. 2). A pecuária bovina ocupa quase que a totalidade desse território, e a maioria dos pecuaristas adota o sistema de produção em regime de pasto. Segundo a Associação Nacional de Confinadores – ASSOCON (2013), em 2012, foram confinadas no Estado 410 mil cabeças de bovinos, representando menos de 2% do rebanho. Isso demonstra que a prática de manejo dos bovinos se dá com as criações em regime de pastagens, com uma pequena participação de gado de corte em sistema de confinamento.

Essa distribuição espacial, das pastagens em vários biomas do Estado, requer dos pecuaristas

*O agronegócio tem uma participação efetiva na economia do Estado, em torno de um terço do Produto Interno Bruto.*

**Tabela 1. Rebanho efetivo das várias espécies em Minas Gerais e sua participação relativa no rebanho nacional**

Atividades	Minas Gerais	MG/BR %	Ranking
Equinos (mil cabs)	785,3	14,6	1º
Bovinos (mil cabs)	22.965	11,3	2º
Avicultura de postura (milhões cabs)	21,3	10,0	3º
Suínocultura (milhões cabs)	5,2	13,3	4º
Apicultura (mel mil t)	3,4	10,1	4º
Cunicultura (mil cabs)	14,8	7,2	4º
Codornas (mil cabs)	1.376	8,4	4º
Avicultura de corte (milhões cabs)	94,4	9,1	5ª
Pesca extrativista (mil t)	9,8	4,0	7º
Aquicultura (mil t)	25,9	4,8	9º
Caprinocultura (mil cabs)	114,7	1,3	9º
Ovinocultura (mil cabs)	226,0	1,3	14º

Fonte: IBGE – Pesquisa Pecuária Municipal – 2012

**Tabela 2. Ocupação do território com a pecuária**

Uso do solo com a pecuária	Área (Mil ha)	%
Pastagens <sub>1</sub>	18.217,9	30,9
Forragens <sub>2</sub>	759,3	1,3
Sistemas Agroflorestais <sub>3</sub>	845,3	1,4
Outros usos	39,056,5	66,4
Área Total do Estado	58.879,0	100

1- Refere-se às pastagens naturais e plantadas; 2- Refere-se à área plantada com forrageiras para corte; 3- Refere-se à área cultivada com espécies florestais integrada às lavouras e ao pastoreio por animais. Fonte: Censo Agropecuário 2006.

práticas de manejo que permitam evitar a degradação das pastagens; além de

que, a manutenção do ecossistema pastagem, com manejo adequado tem um importante papel no combate ao aumento do efeito estufa, atu-

ando em favor do sequestro de carbono (Paulino e Teixeira, 2009).

*A degradação de pastagens é um processo evolutivo de perda de vigor, de produtividade, de capacidade de recuperação natural para sustentar os níveis de produção.*

A degradação de pastagens é um processo evolutivo de perda de vigor, de produtividade, de capacidade de recuperação natural para

sustentar os níveis de produção e qualidade exigidos pelos animais, assim como, a capacidade de superar os efeitos nocivos de pragas, doenças e invasoras, culminando com a degradação avançada dos recursos naturais em razão do manejo inadequado (Macedo, 1995). Mediante esse conceito, estima-se que uma área expressiva das pastagens do território mineiro encontra-se em algum estágio de degradação. Essa situação remete à necessidade de planos de recuperação das pastagens, já que, apesar do potencial existente para a produção de leite e carne, há um enorme risco de não ser explorado por causa do mau uso dos recursos naturais disponíveis. Segundo Paulino e Teixeira (2009), a degradação da pastagem faz com que haja redução na produtividade e perda de matéria orgânica do solo, além de aumentar a emissão de gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) para atmosfera em consequência da redução de sequestro de carbono na pastagem.

Os dejetos depositados nos solos por animais durante a pastagem são a fonte mais importante das emissões de óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) por solos agrícolas em Minas Gerais, devido ao grande rebanho e pelo fato de a criação extensiva ser a prática predominante no Estado. Os sistemas de produção ainda se caracterizam por grande extensão territorial, com manejo de pastagens realizado de

*A fermentação entérica dos ruminantes é outra fonte importante de emissão de metano ( $\text{CH}_4$ ) na agropecuária.*

forma contínua.

A fermentação entérica dos ruminantes é outra fonte importante de emissão de metano ( $\text{CH}_4$ ) na agropecuária. Vários trabalhos

de pesquisa estimam que os bovinos emitem em média 56 kg/ano de metano, dados aceitos como referência pelo IPCC, 2007 (Intergovernmental Panel on Climate Change). Essa emissão de  $\text{CH}_4$ , resultante da fermentação entérica por ruminantes, é responsável por 22% da emissão de gases de efeito estufa, e constitui a terceira maior fonte em escala global (USEPA, 2000). No Brasil, a pecuária tem sido responsabilizada pela emissão de 96% de metano proveniente de todas as atividades agrícolas (Lima, 2002). No entanto, Paulino e Teixeira (2009) registram que as produções de metano pelos bovinos variam de acordo com a alimentação e que, dentre outras medidas mitigadoras da emissão de metano, figuram: o uso de aditivos (ionóforos), uso de volumosos de alta qualidade, emprego de variedades de cana-de-açúcar com melhor relação fibra e açúcares solúveis, uso de consorciação leguminosas e gramíneas de alta qualidade, e o manejo adequado das pastagens.

No Estado, suinocultura, avicultura de postura e de corte são atividades representativas em relação à produção nacional, sendo que, na sua grande

maioria, adotam sistema de pleno confinamento. Esse modelo de produção gera um elevado volume de dejetos e resíduos orgânicos.

Especificamente nas granjas de suínos, há o uso de água para lavagem das instalações, gerando efluentes líquidos que normalmente são armazenados em grandes lagoas de resíduos, revestidas com mantas plásticas flexíveis e impermeáveis. Miranda (2005) cita que a produção intensiva de suínos é uma importante fonte de emissão de dióxido de carbono, metano, óxido nítrico e amônia, elementos que estão associados de forma diversa com o aquecimento global, a diminuição da camada de ozônio e a chuva ácida.

Na avicultura de corte, o material distribuído sobre o piso de galpões para servir de leito às aves, que é acrescido paulatinamente, durante o período de ocupação das aves, de uma mistura da excreta, penas e sobra de ração, denominado de “cama”, gera volume significativo de resíduos sólidos a cada ciclo produtivo. Segundo Fukayama (2008), em 42 dias de criação, um frango de corte produz cerca de 1,75 kg de “cama” (matéria seca)

Em 2013, segundo Pesquisa Trimestral de Abate de Animais do

*Sistema de pleno confinamento gera um elevado volume de dejetos e resíduos orgânicos.*

*A pecuária, em particular os herbívoros ruminantes, constitui, em Minas Gerais, uma fonte importante de emissão de metano.*

IBGE, foram abatidos 463,4 milhões de frangos (peso vivo médio de 2,2 kg); estimando-se uma produção de 1,1 bilhão de kg de cama, caso as camas não sejam

reutilizadas por mais de um ciclo de produção. Com base nas características quantitativas, qualitativas e pelo alto potencial de emissão de gases de efeito estufa dos dejetos de aves, torna-se evidente a necessidade de um destino racional para esse resíduo.

Na avicultura de postura, atualmente, predomina o sistema de produção de poedeiras em gaiolas. Esse sistema de produção, se por um lado representa ganho em relação ao manejo, por outro aumenta a concentração de resíduos sólidos, podendo a falta de estrutura para reter e tratar os dejetos transformar-se em um problema ambiental.

A geração de dejetos é um fenômeno inevitável e que ocorre diariamente no âmbito da exploração animal, sendo que esses resíduos constituem ameaça ao meio ambiente, se não forem manejados e tratados corretamente.

Dessa forma, a pecuária, em particular os herbívoros ruminantes, constitui, em Minas Gerais, uma fonte importante de emissão de metano. As categorias de animais considerados pela metodolo-

gia do IPCC (1996) incluem: animais ruminantes (gado de leite, gado de corte, búfalos, ovelhas e cabras) e animais não-ruminantes (cavalos, mulas, asnos e suínos). A categoria de aves é incluída apenas na estimativa das emissões pelo manejo de dejetos animais.

Para mitigar a emissão de GEE em sistemas agrícolas, é necessário reduzir a emissão direta de  $N_2O$  e  $CH_4$  e aumentar o sequestro de carbono no solo (Kimble *et al.*, 2001). Nesse contexto, as atividades agrícolas destacam-se pela flexibilidade econômica e operacional para reduzir a sua contribuição ao efeito estufa antrópico (Costa, 2005).

### 3. Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa do Brasil e do Estado de Minas Gerais

Emissões antrópicas de GEE ocorrem em diversos setores da sociedade.

A estimativa para o país (Brasil, 2013) registra que a emissão ocorrida em 2010 pelos vários setores foi da ordem de 1.246 Tg  $CO_2eq$  (milhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente), sendo que a distribuição por setor apresentou a seguinte proporção: Agropecuária (35,1%); Energia (32,0%); Mudança do Uso da Terra e Florestas (22,4%); Processos Industriais (6,6%); e Tratamento de Resíduos (3,9%).

A principal fonte de emissão de GEE no Brasil é o setor agropecuário. Observa-se que o setor vem ao longo das últimas duas décadas apresentando um crescimento contínuo na emissão do GEE (Tab.3).

As estimativas apresentadas no Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Estado de Minas Gerais (Minas Gerais, 2014) indicam uma emissão total de 123,4 Tg  $CO_2eq$  (milhões toneladas de dióxido de carbono equivalente) para o ano de

**Tabela 3. Emissão de gases do setor agropecuário**

Gases (Tg $CO_2eq$ )	1990	1995	2000	2005	2010	Varição (%) de 1990 a 2010
$CO_2$	200,3	219,4	226,2	268,1	275,8	37,7
$N_2O$	103,5	116,4	121,7	147,6	161,4	55,9
Total	303,8	335,8	347,9	415,7	437,2	43,9

O Estado de Minas Gerais, através da Fundação Estadual de Meio Ambiente – FEAM, utilizando as metodologias para elaboração de inventários do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC), adaptadas para a escala estadual, quantificou as emissões dos gases mais significativos, como o dióxido de carbono ( $CO_2$ ), o metano ( $CH_4$ ) e o óxido nitroso ( $N_2O$ ), o tetrafluoroetano ( $CF_4$ ) e o hexafluoroetano ( $C_2F_6$ ), emitidos em menores quantidades, e as remoções de carbono por uso do solo e florestas (Minas Gerais, 2014).

2010 (Tab. 4). As emissões totais divulgadas no Primeiro Inventário Estadual, ano-base 2005, foram de 122,9 Tg CO<sub>2</sub>eq. Contudo, as melhorias na metodologia de contabilização e consolidação dos dados permitiram um aprimoramento dos cálculos que resultaram em um recálculo da emissão

*O setor agropecuário mineiro, em 2010, apresentou as maiores emissões (39,3%), com cerca de 48,5 Tg CO<sub>2</sub>eq, sendo 60,6 % da pecuária e 39,4% da agricultura, o que era esperado em função da importância do setor na economia mineira.*

total de 124,2 Tg CO<sub>2</sub>eq para o ano de 2005. Dessa forma, com base no recálculo realizado, houve um decréscimo de 0,6% das emissões na comparação 2005 a 2010, indicando uma estabilização das emissões estaduais no período considerado.

O setor agropecuário mineiro, em 2010, apresentou as maiores emissões (39,3%), com cerca de 48,5 Tg CO<sub>2</sub>eq, sendo 60,6 % da pecuária e 39,4% da agricultura, o que era esperado em

função da importância do setor na economia mineira.

O setor de Mudança do Uso do Solo mostrou uma forte queda nas emissões líquidas, reduzidas a aproximadamente 3,1 Tg CO<sub>2</sub>eq em comparação com 10,4 Tg CO<sub>2</sub>eq em 2007 e 16,8 Tg CO<sub>2</sub>eq em 2005, o que pode ser atribuído

a uma redução acentuada do desmatamento e, em menor grau, a uma expansão das remoções de carbono por meio de florestas plantadas e unidades de conservação em áreas florestais. O recálculo das emissões de 2005 revelou uma significativa redução de 82% no período de 2005 a 2010 (Minas Gerais, 2014).

As emissões do setor agropecuário estão subdivididas em subsetor pecuária e subsetor agricultura. A pecuária é a responsável pela emissão de 29,4

**Tabela 4. Emissões Totais de GEE por setor para o Estado de Minas Gerais. Ano-base 2010**

Setores	Emissões (Tg CO <sub>2</sub> eq)	%
Energia	44,4	36,0
Indústria	19,5	15,8
Agropecuária	48,5	39,3
Mudanças de Uso do Solo	3,1	2,5
Resíduos	7,9	6,4
Total	123,4	100,0

Fonte: Minas Gerais. Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa do Estado de Minas Gerais – Ano-Base 2010 – SEMAD/FEAM. 2014.



Tg CO<sub>2</sub>eq, correspondendo a 60,6% do setor agropecuário, tendo na fermentação entérica e no manejo de dejetos os maiores emissores de GEE (Tab. 5). Com relação às emissões do subsetor agricultura, o cultivo de arroz, a queima de resíduos agrícolas e os solos agricultáveis, além das emissões por calagem, são as principais atividades agrícolas responsáveis pelos GEE. Os gases considerados foram o CH<sub>4</sub>, no caso do cultivo de arroz, o N<sub>2</sub>O para os solos agricultáveis, e ambos para a quei-

*Os solos cultivados são responsáveis tanto por emissões diretas como por indiretas.*

ma de resíduos agrícolas. Essas emissões totalizaram 19,1 Tg CO<sub>2</sub>eq (Minas Gerais, 2014).

Os solos cultivados são responsáveis tanto por emissões diretas como por indiretas. As diretas são provenientes da adição intencional de fertilizantes sintéticos e esterco animal ao solo, da incorporação ao solo de resíduos de colheita e da deposição de dejetos animais na pastagem. Já as emissões indiretas são aquelas provenientes também da porção de nitrogênio adicionada aos solos como

**Tabela 5. Emissões de GEE do subsetor pecuária**

Pecuária	Emissões (Gg CO <sub>2</sub> eq)		%
<b>Fermentação entérica</b>	<b>27.022,6</b>		
Gado de corte		18.483,2	68,40
Gado leiteiro		8.007,1	29,63
Ovinos		24,0	0,09
Muar		33,1	0,12
Bubalinos		48,1	0,18
Caprinos		12,5	0,05
Equinos		303,2	0,12
Asininos		5,9	0,02
Suínos		105,5	0,39
<b>Manejo de dejetos</b>	<b>2.399,2</b>		<b>100,00</b>
Gado de corte		513,0	21,38
Gado leiteiro		1.072,0	44,68
Suínos		418,0	17,42
Aves		302,0	12,59
Outros		94,0	3,92
<b>Total</b>	<b>29.421,8</b>		<b>100,00</b>

Fonte: Minas Gerais. Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de efeito Estufa do Estado de Minas Gerais – Ano-Base 2010 – SEMAD/FEAM. 2014. (Gg Co<sub>2</sub>eq = mil toneladas de dióxido de carbono).

fertilizantes e esterco que são volatilizados e depositados na atmosfera, bem como da fração perdida por lixiviação. Tais emissões totalizam 17,0 Tg CO<sub>2</sub>eq (Tab. 6) (Minas Gerais, 2014).

No entanto, há o registro de vários autores sobre o fator complicador do cálculo das emissões, pois não existem metodologias facilmente aplicáveis às características brasileiras, dado que prevalecem diretrizes construídas com base nas condições dos países desenvolvidos e de clima temperado.

## 4. Metas de redução do GEE no Brasil

Durante a 15ª Conferência das Partes (COP-15), o governo brasileiro

*O governo brasileiro divulgou o seu compromisso voluntário de redução entre 36,1% e 38,9% das emissões de GEE projetada para 2020.*

divulgou o seu compromisso voluntário de redução entre 36,1% e 38,9% das emissões de GEE projetada para 2020, estimando o volume de redução em torno de

um bilhão de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente (Brasil, 2012). Para tanto, foram propostas diferentes ações:

- reduzir em 80% a taxa de desmatamento na Amazônia, e em 40% no Cerrado;
- adotar intensivamente na agricultura a recuperação de pastagens atualmente degradadas; promover ativamente a integração lavoura-pecuária (ILP);
- ampliar o uso do Sistema Plantio Direto (SPD) e da Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN);
- ampliar a eficiência energética, o uso

**Tabela 6. Emissões de GEE do subsector agricultura – solos cultivados**

Agricultura	Emissões (Gg CO <sub>2</sub> eq)	%
<b>Emissões dos solos agrícolas</b>	<b>17.002,0</b>	
<b>Diretas</b>	<b>10.541,8</b>	
Fertilizantes Sintéticos	2.078,9	19,7
Aplicação de Adubo	1.261,9	12,0
Resíduos Agrícolas	909,1	8,6
Animais em Pastagens	6.292,0	59,7
<b>Indiretas</b>	<b>6.460,2</b>	
Deposição Atmosférica	1.177,7	18,2
Lixiviação	5.282,5	81,8

Fonte: Minas Gerais. Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa do Estado de Minas Gerais – Ano-Base 2010. (Gg Co<sub>2</sub>eq = mil toneladas de dióxido de carbono).

de bicompostíveis, a oferta de hidrelétricas e de fontes alternativas de biomassa, de energia eólica e de pequenas centrais hidrelétricas, assim como ampliar o uso na siderurgia de carvão de florestas plantadas.

Esses compromissos foram ratificados na Política Nacional sobre Mudanças do Clima – PNMC (Brasil, 2009). A PNMC prevê que o Poder Executivo estabelecerá Planos Setoriais de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas visando à Consolidação de uma Economia de Baixo Consumo de Carbono em vários setores da economia, como o da agricultura (Brasil, 2009). Para o setor da agricultura, estabeleceu-se a constituição do Plano para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura. O Plano Nacional sobre Mudança do Clima, integrado pelos Planos de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento nos Biomas e pelos Planos Setoriais de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas, enfatiza a implementação de ações que almejem reduzir entre 1.168 Tg CO<sub>2</sub>eq e 1.259 Tg CO<sub>2</sub>eq do total das emissões estimadas.

A contribuição do setor agropecuário (Cordeiro *et al.*, 2011) foi delineada no Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura (Plano ABC – Agricultura

de Baixa Emissão de Carbono), iniciando as metas em 2010, com alcance até 2020. Para execução do Plano ABC foram propostas as seguintes tecnologias:

- recuperar uma área de pastagens degradadas por meio do manejo adequado e adubação;
- aumentar a adoção de sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) e de Sistemas Agroflorestais (SAFs);
- ampliar a utilização do Sistema Plantio Direto (SPD);
- ampliar o uso da Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN);
- promover as ações de reflorestamento no país, expandindo a área com Florestas Plantadas, atualmente, destinada à produção de fibras, madeira e celulose;
- ampliar o uso de tecnologias para tratamento de dejetos de animais para geração de energia e produção de composto orgânico.

Na Tabela 7, encontram-se listados os compromissos da agricultura que constituem a base do Plano ABC, bem como suas estimativas de mitigação da emissão de GEE.

## **5. Metas de redução do GEE em Minas Gerais**

O governo de Minas Gerais, através da Secretaria de Agricultura, Pecuária e Abastecimento, criou o Plano Estadual de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas na Agricultura para a

Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono de Minas Gerais – Plano ABC-MG (Minas Gerais, 2013), em consonância com a Política Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC (Brasil, 2009).

O Plano ABC-MG tem como objetivos: reduzir a emissão e aumentar o sequestro e a fixação de gases do efeito estufa na agropecuária estadual; incentivar maior uso de conhecimento técnico de práticas agrônômicas de conservação de solo, água e biodiversidade, bem

*O Plano ABC-MG tem como objetivos: reduzir a emissão e aumentar o sequestro e a fixação de gases do efeito estufa na agropecuária estadual.*

como a disseminação de sistemas de produção de baixa emissão de GEE, com aumento do rendimento por unidade de área, com destaque para: plantio direto na palha;

recuperação de áreas de pastagens degradadas; sistema de integração lavoura-pecuária-floresta; novas florestas; recomposição da Reserva Legal e das Áreas de Preservação Permanente; tratamento de dejetos animais; e produção de mudas.

Para a implementação do Plano ABC-MG, foi criado um Grupo de Trabalho

**Tabela 7. Processo Tecnológico, compromisso nacional relativo (aumento da área de adoção ou uso) e potencial de mitigação por redução de emissão de GEE (Tg CO<sub>2</sub>eq)**

Processo Tecnológico	Compromisso (aumento de área/ uso)	Potencial de Mitigação (Tg CO <sub>2</sub> eq)
Recuperação de Pastagens Degradadas <sub>1</sub>	15,0 milhões ha	83 a 104
Integração Lavoura-Pecuária-Floresta <sub>2</sub>	4,0 milhões ha	18 a 22
Sistema Plantio Direto <sub>3</sub>	8,0 milhões ha	16 a 20
Fixação Biológica de Nitrogênio <sub>4</sub>	5,5 milhões ha	10
Florestas Plantadas <sub>5</sub>	3,0 milhões há	-
Tratamento de Dejetos Animais <sub>6</sub>	4,4 milhões m <sup>3</sup>	6,9
Total		133,9 a 162,9

Notas: 1 - Por meio do manejo adequado e adubação. Base de cálculo foi de 3,79 Mg de CO<sub>2</sub> eq.ha<sup>-1</sup>. ano<sup>-1</sup>; 2 - Incluindo Sistemas Agroflorestais (SAFs). Base de cálculo foi de 3,79 Mg de CO<sub>2</sub> eq.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>; 3 - Base de cálculo foi de 1,83 Mg de CO<sub>2</sub> eq.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>; 4 - Base de cálculo foi de 1,83 Mg de CO<sub>2</sub> eq.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>; 5 - Não está computado o compromisso brasileiro relativo ao setor da siderurgia, e não foi contabilizado o potencial de mitigação de emissão de GEE; 6 - Base de cálculo foi de 1,56 Mg de CO<sub>2</sub> eq.m<sup>-3</sup>. (Mg: megagrama = 1000kg = 1 tonelada.)

Interinstitucional, composto pelos seguintes órgãos: Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento – SEAPA; Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável – SEMAD; Secretaria de Estado de Planejamento e Gestão – SEPLAG; Superintendência Federal de Agricultura – SFA-MG; Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado de Minas Gerais – EMATER-MG; Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais – EPAMIG; Embrapa Milho e Sorgo – EMBRAPA, que terá por atribuições: formular propostas para articulação técnica e institucional, respeitando as diretrizes do Plano ABC-MG; estabelecer as metas do Plano ABC-MG; e coor-

denar as ações para o cumprimento e o monitoramento das metas do Plano.

As metas estabelecidas em compromisso voluntário pelo Estado de Minas Gerais para o uso das tecnologias agropecuárias de baixa emissão de carbono, até 2020, foram estabelecidas em reuniões com a participação de representantes dos produtores e dos agricultores familiares (Tab. 8).

O monitoramento estabelecido das metas pelo governo tem sido através da aplicação do recurso do crédito rural, linha Agricultura de Baixo Carbono. No Plano Agrícola e Pecuário (safra 2013/2014) foram assegurados R\$ 4,5 milhões. O Estado de Minas Gerais lidera na aplicação, quando comparado o período de junho de 2013 a abril de

**Tabela 8. Processo Tecnológico, compromisso mineiro e nacional na redução de emissão de GEE (início 2010)**

Tecnologias	Metas até 2020		
	Brasil	Minas Gerais	Relação MG/BR
R. de Pastagens Degradadas*	15,0 milhões de ha	2,0 milhões de ha	13,3%
I. Lavoura-Pecuária-Floresta**	4,0 milhões ha	0,26 milhão de ha	6,5%
Sistema Plantio Direto	8,0 milhões ha	0,7 milhão de ha	8,8%
Fixação Biológica de Nitrogênio <sub>4</sub>	5,5 milhões ha	0,15 milhão de ha	2,7%
Florestas Plantadas <sub>5</sub>	3,0 milhões ha	0,8 milhão de ha	26,7%
Tratamento de Dejetos Animais <sub>6</sub>	4,4 milhões m <sup>3</sup>	0,76 milhão de m <sup>3</sup>	17,3%

Nota: \*Recuperação de Pastagens Degradadas e \*\* Integração Lavoura-Pecuária-Floresta.

2014, e também no número de projetos financiados (Tab. 9).

As taxas de juros pouco atrativas continuam sendo um limitador do Programa ABC e um dos principais motivos para a baixa adesão dos produtores. Aliada a isso, está falta de capacitação de técnicos e produtores rurais, principalmente para atender às exigências do Programa ABC na concessão do crédito.

As regiões Triângulo, Norte e Noroeste apresentaram os maiores volumes de recursos do ABC, totalizando 61,7% (Tab. 10).

Nessas regiões estão 43,2% do rebanho bovino mineiro, havendo, consequentemente, extensas áreas de pastagens e algum grau de degradação. As outras regiões apre-

sentaram baixa taxa de aplicação, no entanto não menos importante quanto à recuperação das pastagens ou à adoção das tecnologias preconizadas pelo Plano ABC-MG.

## 6. Considerações finais

A produção agropecuária deve estar preparada para atender às exigências da sociedade mundial quanto à conservação da água e do solo, bem-estar animal e mitigação do efeito estufa na produção animal. Devido a anos de esforços

na área de pesquisa e desenvolvimento de tecnologias aplicadas à pecuária, o sistema produtivo tem grande potencial para colaborar com a mitigação do aquecimento global causado pelos GEE.

*A produção agropecuária deve estar preparada para atender às exigências da sociedade mundial quanto à conservação da água e do solo, bem-estar animal e mitigação do efeito estufa na produção animal.*

**Tabela 9. Aplicação da linha de Crédito Rural ABC por unidade da federação no período de junho/2013 a abril/2014**

Estados	Recursos Financeiros (R\$ milhões)	%	Número de Projetos	%
Minas Gerais	390,8	18,4	1.785	21,0
Mato Grosso do Sul	314,9	14,8	613	7,2
Goiás	295,8	13,9	1.019	12,0
São Paulo	294,5	13,8	1.195	14,1
Mato Grosso	194,8	9,2	496	5,8
Outros Estados	637,7	30,0	3.384	39,8
<b>Total</b>	<b>2.128,50</b>	<b>100,0</b>	<b>8.492</b>	<b>100,0</b>

Fonte: BNDES / BB.

**Tabela 10. Aplicação percentual da linha de Crédito Rural ABC no Estado de Minas Gerais, no período de junho/2013 a abril/2014**

Regiões	Participação (%) na aplicação da linha de crédito rural ABC
Triângulo	25,34
Norte de Minas	20,44
Noroeste de Minas	15,95
Alto Paranaíba	8,60
Central	7,99
Jequitinhonha/Mucuri	7,28
Zona da Mata	4,84
Sul de Minas	4,46
Centro Oeste	3,07
Rio Doce	1,93
Total	100

Fonte: Banco do Brasil S/A.

## 7. Referência Bibliográfica

- Associação Nacional de Confinadores - ASSOCON. <http://www.assocon.com.br/assocon/>. Acesso em junho de 2014.
- BARROS, G.S.A.C. Relatório PIBAGRO-MINAS. Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada – Cepea. Março de 2014. p.4.
- BRASIL. Decreto-lei nº 7.390, de 9 de dezembro de 2010. Regulamenta os arts. 6o, 11 e 12 da Lei no 12.187, de 29 de dezembro de 2009, que institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC, e dá outras providências. [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2007-2010/2010/Decreto/D7390.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Decreto/D7390.htm). Acesso em julho de 2014.
- BRASIL. Governo Federal. Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima. Plano Nacional sobre Mudança do Clima PNMC. Brasília. Brasil. 2008. [http://www.mma.gov.br/estruturas/smcq\\_climaticas/\\_arquivos/plano\\_nacional\\_mudanca\\_clima.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/smcq_climaticas/_arquivos/plano_nacional_mudanca_clima.pdf). Acesso em julho de 2014.
- BRASIL. Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC e dá outras providências. Brasília, 2009. [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2009/lei/112187.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/112187.htm). Acesso em julho de 2014.
- Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Mapa. Estudo Projeções do Agronegócio – Brasil 2012/13 a 2022/23, Brasília – DF, 2013. p. 38- 40 e 45-50. [http://www.agricultura.gov.br/arq\\_editor/projecoes%20-%20versao%20atualizada.pdf](http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/projecoes%20-%20versao%20atualizada.pdf). Acesso em julho de 2014.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Plano setorial de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas para a consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na agricultura : plano ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono) / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Ministério do Desenvolvimento Agrário, coordenação da Casa Civil da Presidência da República. – Brasília: MAPA/ACS, 2012. p.18
- BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação – MCIT. Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil. Brasília- DF. 2013. p. 11-13 e 35-50.
- BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa Pecuária Municipal. [http://www.ibge.gov.br/pesquisas/nacionais/pecuaria\\_municipal/](http://www.ibge.gov.br/pesquisas/nacionais/pecuaria_municipal/)

- [www.sidra.ibge.gov.br/bda/acervo/acervo9.asp?e=c&p=PP&z=t&o=24](http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/acervo/acervo9.asp?e=c&p=PP&z=t&o=24). Disponível em: Acesso em: julho de 2014.
10. CORDEIRO, L. A. M.; ASSAD, E.D.; FRANCHINI, J. C.; SÁ, J. C. M.; LANDERS, J.N.; AMADO, T.J.C.; RODRIGUES, R.A.R.; ROLOFF, G.; BLEY, J.C.; ALMEIDA, H.G.; MOZZER, G.B.; BALBINO, L.C.; GALERANI, P.R.; EVANGELISTA, B.A.; PELLEGRINO, G.Q.; MENDES, T.A.; AMARAL.D.D; RAMOS, E.; MELLO, I.; RALISCH,R.. O Aquecimento Global e a Agricultura de Baixa Emissão de Carbono. Brasília:MAPA/EMBRAPA/FEBRAPDP,2011.p. 41-45.
  11. COSTA, F.S. Estoques de carbono orgânico e fluxos de dióxido de carbono e metano de solos em preparo convencional e plantio direto no Subtrópico Brasileiro. Porto Alegre, Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005. 145p. (Tese - Doutorado).
  12. FUKAYAMA, E. H. Características quantitativas e qualitativas da cama de frango sob diferentes reutilizações: efeitos na produção de biogás e biofertilizante. UNESP-Jaboticabal, 2008. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2008.
  13. Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Chapter 10: Emissions from livestock and Manure Management. 2006. p. 10.1-10.84.
  14. KIMBLE, J.M., LAL, R. & FOLLETT, R.F. Methods of assessing soil C pools. In: Lal, R., Kimble, J.M., Assessment Methods for Soil Carbon. Lewis Publishers, Boca Raton Follett, R.F., Stewart, B.A. 1:3-12, 2001.
  15. LIMA, M.A. Agropecuária brasileira e as mudanças climáticas globais: caracterização do problema, oportunidades e desafios. Cadernos de Ciência & Tecnologia. 2002. v.19, p. 451-472.
  16. MACEDO, M. C. M. Pastagens no ecossistema Cerrado: pesquisa para o desenvolvimento sustentável. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA. 32.: SIMPÓSIO SOBRE PASTAGENS NO ECOSISTEMAS BRASILEIROS: Pesquisas para o desenvolvimento sustentável.1995. Brasília. Anais... Brasília: Sociedade Brasileira de Zootecnia.1995.p.28-62.
  17. MINAS GERAIS. Fundação Estadual do Meio Ambiente – FEAM. Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Estado de Minas Gerais. Ano Base 2010. Belo Horizonte – MG. 2014. p. 05-38.
  18. MINAS GERAIS. Resolução Seapa n.º 1.233, de 09 de janeiro de 2013. Dispõe sobre o Plano Estadual de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas na Agricultura para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono de Minas Gerais (Plano ABC-MG).). <http://www.agricultura.mg.gov.br/component/content/article/2520-resolucao-seapa-no-1233-de-09-de-janeiro-de-2013> Acesso em julho de 2014.
  19. MIRANDA, C. R. de (a). Ordenamento sustentável da suinocultura em Santa Catarina. Suinocultura Industrial, n.7, 2005, p.14-19.
  20. PAULINO, V. T. & TEIXEIRA, E.M.L. Sustentabilidade de pastagens – Manejo adequado como medida redutora da emissão de gases de efeito estufa. Produção animal sustentável, Ecologia de Pastagens, IZ, APTA/SAA. 2009. p. 3 – 4.
  21. USEPA. Evaluation ruminant livestock efficiency projects and programs: peer review draft. Washington: United States Environmental Protection Agency, 2000. 48p.





## 2. Fisiologia da digestão dos ruminantes

Clenderson Corradi de Mattos Gonçalves<sup>1</sup> – CRMV-MG 1070/Z

Adauto Ferreira Barcelos<sup>1</sup> – CRMV-MG 0127/Z

<sup>1</sup> Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais – Unidade Regional Sul de Minas

### 1. Introdução

Existem relatos da domesticação dos ruminantes, principalmente os bovinos, de mais de 5.000 anos atrás. Antigamente os homens utilizavam esses animais como animais de carga e produção de leite, sendo pouco utilizados para produção de carne. Com o passar dos anos e o crescimento acelerado da população, a

*Os ruminantes são animais que possuem pré-estômagos em que vivem bactérias, protozoários e fungos em simbiose e que proporcionam a esses animais a digestão de fibras.*

criação de ruminantes, como bovinos, caprinos e ovinos, ganhou grande importância para atender as necessidades de alimentos, como a carne e o leite, e a produção de roupas e sapatos com a lã e o couro desses animais.

Os ruminantes são animais que possuem pré-estômagos em que vivem bactérias, protozoários e fungos em simbiose e que proporcionam a esses

animais a digestão de fibras. Essa peculiaridade proporciona aos ruminantes a produção de proteínas de interesse humano, como o leite e a carne, por meio do consumo de fibras, como forragens e leguminosas, não sendo, dessa forma, competidores do ser humano por fontes de alimentos.

Com o constante crescimento da população e necessidade de maiores quantidades de alimentos, houve uma evolução na alimentação e nutrição desses animais e aumento do interesse na fisiologia do trato digestório, principalmente dos pré-estômagos, com o intuito de maximizar a eficiência dos microrganismos e aumentar produções.

O processo de fermentação que ocorre nesses pré-estômagos traz grande vantagem para os ruminantes em aproveitamento de fibras na dieta, geram alguns gases, dentre os quais podemos destacar o metano que, vem sendo apontado como um dos vilões do aquecimento global.

Dessa forma, este capítulo tem como objetivo relatar pontos importantes da fisiologia da digestão dos ruminantes, principalmente em relação à fermentação nos pré-estômagos e à produção de metano.

## 2. Partes do aparelho digestivo

Compreende o aparelho digestivo dos ruminantes a boca, faringe, esôfago, pré-estômagos (rúmen, retículo, oma-

so), abomaso (estômago verdadeiro ou glandular), intestino delgado, intestino grosso, reto e ânus. Os órgãos acessórios são: dentes, língua, glândulas salivares, fígado e pâncreas.

O processo de digestão se inicia com a introdução dos alimentos na cavidade oral. O processo de apreensão dos alimentos varia de acordo com a espécie animal, podendo ser utilizados, em vários graus, os dentes, lábios, língua, cabeça e as extremidades dos membros anteriores (Teixeira, 1996). Nos bovinos, a língua é o principal órgão de apreensão dos alimentos e apresenta características próprias, atua como um êmbolo, no sentido de empurrar o alimento para a cavidade bucal, e posteriormente, na deglutição, para os demais segmentos do trato (Furlan et al., 2006).

Os ruminantes não possuem caninos nem incisivos superiores. As fórmulas das dentições dos bovinos são as temporárias com 2 (I 0/4, C 0/0, P 3/3) = 20 dentes e permanentes com 2 (I 0/4, C 0/0, P 3/3, M 3/3) = 32 dentes. A eficácia da mastigação é uma condição prévia vital para a digestão em ruminantes porque reduz o material vegetal a partículas de tamanho pequeno, que permite o ataque de microrganismos do rúmen aos carboidratos estruturais.

A faringe é a porção central da cavidade bucal e conduz o alimento ao esôfago. Sua estrutura anatômica e funcional tem papel relevante para a mastigação e deglutição dos alimentos. Já o

esôfago, em bovinos, é um tubo de 90 a 105 cm que se estende desde a faringe até a cárdia, orifício de entrada no estômago (rúmen) (Furlan et al., 2006).

A principal característica dos ruminantes é o estômago multicavitário, em que os compartimentos, retículo, rúmen e omaso, possuem funções associadas ao processo fermentativo que ocorre nesses locais, tem um epitélio não glandular, sendo recoberto por epitélio mucoso, com capacidade absorviva. O abomaso possui similaridade com o estômago de monogástricos, apresentando um epitélio de revestimento com mucosa repleta de glândulas secretoras (ácidos, muco e hormônio) (Furlan et al., 2006).

### 3. Funções da saliva

A saliva possui alto teor de umidade que facilita a mastigação e a deglutição. Durante a mastigação ocorre umidificação e intumescimento dos alimentos e desprendimento de nutrientes essenciais e substâncias que estimulam a sensibilidade gustativa e a secreção de saliva e suco gástrico. Nos ruminantes a lipase salivar atua na hidrólise de moléculas dos triglicerídeos (Teixeira, 1996).

Os ruminantes produzem diariamente grande quantidade de saliva (6 a 16 litros/dia nos ovinos; 60 a 160 litros/

*A principal característica dos ruminantes é o estômago multicavitário, em que os compartimentos, retículo, rúmen e omaso, possuem funções associadas ao processo fermentativo que ocorre nesses locais.*

dia nos bovinos). As secreções das principais glândulas são isotônicas com o plasma sanguíneo, não têm conteúdo significativo de amilase, variam sua composição em resposta à depleção de sal, contêm ureia

e álcalis e mantêm uma secreção basal contínua mesmo após a desnervação total. As principais glândulas salivares são as parótidas, que produzem cerca de 50% da produção diária de saliva, as glândulas molares inferiores e as glândulas palatinas bucais e faríngeas. Já as glândulas submaxilares, sublinguais e labiais produzem pequena quantidade de saliva hipotônica, mucosa e fracamente tamponada (Leek, 1996). Na Tabela 1 estão apresentadas as características das glândulas salivares.

O alto conteúdo salivar de hidrogenocarbonato ou bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) e hidrogenofosfato ou fosfato ácido ( $\text{HPO}_4^-$ ) contribui para sua alta alcalinidade ( $\text{pH}=8,1$ ) e é um mecanismo importante para a neutralização de cerca de 50% dos ácidos graxos voláteis (AGV) produzidos nos pré-estômagos. Os valores de  $\text{pK}$  para os sistemas de  $\text{HCO}_3^-$  e  $\text{HPO}_4^-$  são de 6,1 e 6,8, respectivamente, e ajudam a tamponar o conteúdo ruminal na variação do  $\text{pH}$  normal de 5,5 a 7,0. É importante destacar que o alto conteúdo de fosfato re-

**Tabela 1. Glândulas salivares e suas propriedades (Carneiro)**

Glândulas Salivares	Volumes Salivares Totais (l/d)	Características	Locais de Estímulos Reflexogênicos
Parótidas	3-8	Serosa, isotônica e fortemente tamponada	Boca, esôfago e rúmen-retículo
Molares inferiores	0,7-2	Serosa, isotônica e fortemente tamponada	Boca, esôfago e rúmen-retículo
Palatina, bucal, faringea	2-6	Isotônica e fortemente tamponada	Boca, esôfago e rúmen-retículo
Submaxilar	0,4-0,8	Mucosa, hipotônica e fracamente tamponada	Boca durante alimentação, não ruminando
Sublingual, labial	0,1	Muito mucosa, hipotônica e fracamente tamponada	Boca

Fonte: Leek (1996). Volume total em carneiro (6-16 l/d).

presenta uma forma de reciclagem, pois os microrganismos têm alta demanda pelo fosfato para síntese de nucleoproteínas, fosfolipídios, nucleotídeos, coenzimas, entre outros.

O nitrogênio salivar, 77% do qual vem da ureia, é uma fonte adicional importante de nitrogênio não proteico (NNP) para síntese de proteína microbiana. O alto conteúdo de ureia na saliva do ruminante pode ser um fator crítico de sobrevivência em situações de deficiência intensa de proteína

sempre que os rins possam aumentar a reabsorção tubular de ureia para facilitar

sua reciclagem (Leek, 1996).

Dessa forma, podemos classificar como papel primário da salivação nos ruminantes o suprimento de quantidades

contínuas de saliva alcalina para tamponar os AGV ruminais e prover uma suspensão aquosa de sólidos que estão comprimidos nos fibrosos sobrenadantes. Podemos destacar como papel secundário da saliva a reciclagem da ureia como fonte de NNP para síntese de prote-

ína microbiana e o fosfato para síntese microbiana de ácido nucleico/nucleoproteína e fosfolipídios de membrana,

*Podemos classificar como papel primário da salivação nos ruminantes o suprimento de quantidades contínuas de saliva alcalina para tamponar os AGV ruminais e prover uma suspensão aquosa de sólidos que estão comprimidos nos fibrosos sobrenadantes.*

ação como agente umidificante para as ingestas e atua como um possível agente antiespumante para o rúmen.

## 4. Ruminação

Uma particularidade do processo digestivo de ruminantes é a ruminação, ou seja, o ato de remastigar o bolo alimentar. A ruminação exerce um efeito importante sobre a redução do tamanho das partículas dos alimentos e sobre o movimento do material sólido através do rúmen além da reinsalivação. O material regurgitado para remastigação origina-se da porção dorsal do retículo e possui tamanho e gravidade característica da região pastosa. Dessa forma, a ingesta que será ruminada não consiste em material grosseiro do rúmen, e sim em material que já sofreu alguma atividade digestiva na zona sólida (região dorsal). A ruminação tem início com a regurgitação do bolo alimentar, que ocorre imediatamente antes da contração primária do rúmen. Há uma contração extra do retículo, com relaxamento da cárdia e uma inspiração profunda com a glote fechada. Essa atividade cria uma pressão negativa no tórax, favorecendo o movimento do alimento para dentro

*Ruminação: ato de remastigar o bolo alimentar.*

*O início da ruminação ocorre entre meia e uma hora após a ingestão do alimento. A quantidade de alimento ingerido, o número de refeições e a estrutura influenciam o número e duração dos ciclos de ruminação.*

do esôfago. Quando o alimento entra no esôfago, surge uma onda antiperistáltica que leva o material cranialmente para a boca, iniciando a remastigação. Após a deglutição do bolo ruminado, segue-se uma pequena pausa, após a qual o processo se repete (Furlan et al., 2006).

O início da ruminação ocorre entre meia e uma hora após a ingestão do alimento. A quantidade de alimento ingerido, o número de refeições e a estrutura (teor de fibra, tamanho de partículas) influenciam o número e duração dos ciclos de ruminação. Em um dia, podem ser observados de 4 a 24 períodos de ruminação de 10 a 60 minutos cada, podendo despender até 7 horas diárias com formação de 360 a 790 bolos alimentares, com tamanhos que variam de 80 a 120 gramas. Os movimentos mandibulares variam de 40 a 70 vezes durante a ruminação em períodos de 45 a 60 segundos (Furlan et al., 2006). Colocando o tempo total de ruminação durante 24 horas com relação à matéria seca (MS) ingerida, obtêm-se valores entre 33 minutos/Kg de MS para ração concentrada e 133 minutos/Kg de MS de palha de aveia (Balch, 1971).

De acordo com Van Soest (1994),

o tempo despendido com ruminação é influenciado pela natureza da dieta, e que alimentos concentrados reduzem o tempo de ruminação, enquanto forragens, com alto teor de parede celular, tendem a aumentá-lo. Quando o alimento ingerido apresentar granulometria fina (< 20 mm), a ruminação pode faltar por completo ou os animais apresentarem uma ruminação irregular.

## 5. Eructação

A eructação é um mecanismo utilizado pelo ruminante para eliminar a grande quantidade de gases formados pela fermentação microbiana. O pico da produção de gases ocorre entre 30 minutos e 2 horas após a ingestão do alimento (Teixeira e Teixeira, 2001). A produção de gases pode atingir um pico de até 40 l/h nos bovinos, 2 a 4 horas após a ingestão do alimento e quando a fermentação está em sua taxa máxima.

O primeiro passo para eructação ocorre quando a camada de gás move-se cranialmente pela contração do ciclo secundário (ocasionalmente o primário) do saco ruminal. O conteúdo

*A eructação é um mecanismo utilizado pelo ruminante para eliminar a grande quantidade de gases formados pela fermentação microbiana.*

*Os pré-estômagos dos ruminantes são constituídos de três compartimentos: o retículo, o rúmen e o omaso, onde ocorre a fermentação microbiana dos alimentos, principalmente pela hidrólise e oxidação anaeróbica.*

do ruminal é contido pela prega ruminoreticular no carneiro ou pelo pilar ruminal no bovino, e o líquido reticular é forçado ventralmente até que a cárdia não esteja mais coberta com líquido. A cárdia e o esfíncter esofágico inferior se abrem e

o esôfago reflexamente se enche de gás. Então ocorre um movimento rápido, no sentido oral, de onda de contração esofágica, junto com a abertura do esfíncter esofágico craniano e elevação do palato mole para fechar o orifício nasofaríngeo, permitido assim que a maior parte dos gases seja expelida pela boca. Esse ciclo pode ser repetido várias vezes enquanto camadas de gases rodeiam a cárdia. No entanto, parte do gás da faringe entra na traqueia e sistema pulmonar e é absorvida pela corrente sanguínea; isso fornece a rota mais comum pela qual os produtos

aromáticos do rúmen atingem a glândula mamária para contaminações indesejáveis no leite (Leek, 1996).

## 6. Pré-estômagos

Os pré-estômagos dos ruminantes são constituídos de três compartimentos: o retículo, o rúmen e o omaso, onde

ocorre a fermentação microbiana dos alimentos, principalmente pela hidrólise e oxidação anaeróbica. O abomaso possui similaridade com o estômago dos monogástricos, com glândulas secretoras (ácidos, muco e hormônios).

Se considerarmos que os ruminantes ingerem alimentos fibrosos provenientes principalmente de forragens (celulose, fibras de baixa ou nenhuma digestibilidade), os pré-estômagos (retículo, rúmen e omaso) têm a função de reter esses alimentos nesses segmentos para a ação fermentativa dos microrganismos ruminais, que têm papel relevante na digestão das fibras, através da fermentação anaeróbica e a transformação desses nutrientes em AGV, produto final da fermentação anaeróbia (Furlan et al., 2006).

## 6.1. Microbiologia Ruminal

A colonização dos microrganismos para formar a microbiota dos pré-estômagos ocorre imediatamente ao nascimento e aumenta durante as primeiras semanas de vida. Esses microrganismos são predominantemente bactérias, protozoários e fungos anaeróbios que dependem das condições fisiológicas do ruminante para sua existência (Church, 1988).

*Microrganismos são predominantemente bactérias, protozoários e fungos anaeróbios.*

*As bactérias são classificadas baseadas na utilização de celulose, hemicelulose, amido, açúcares, ácidos, proteínas, lipídeos e pela produção de metano, amônia*

É importante destacar que a população microbiana presente no trato gastrointestinal dos ruminantes possui grande diversidade, e no rúmen está presente uma das mais variadas e densas populações microbianas conhecidas na natureza (Czerkawski, 1986).

### 6.1.1. Bactérias

As bactérias ruminais são microrganismos que variam de tamanho, de 1 a 5  $\mu\text{m}$ . No rúmen, apresentam a população mais diversa, tanto em termos de número de espécies quanto em capacidade metabólica. A densidade de bactérias no rúmen é uma das maiores em qualquer ecossistema conhecido. Frequentemente são observados valores na grandeza de  $10^{10}$  células/g de conteúdo ruminal. O número total de espécies ruminais não é conhecido; porém, mais de 400 já foram isoladas de diferentes animais. Mais de 20 espécies apresentam contagens superiores a  $10^7$  células/g de conteúdo ruminal (Arcuri et al., 2006).

A classificação adotada pela maioria dos pesquisadores é baseada no tipo de substrato em que a bactéria atua e nos diferentes produtos finais da fermentação. Por esse método, as bactérias são classificadas baseadas

**Tabela 2. Nichos tróficos e principais produtos de espécies bacterianas e Archaea mais estudadas**

<b>Espécie</b>	<b>Nichos Tróficos</b>	<b>Principais Produtos</b>
<b>Fermentadores de carboidratos estruturais</b>		
<i>Fibrobacter succinogenes</i>	Parede Celular (PC), Celulose (Cel)	Succinato (Su), Formato (Fo), Acetato (Ac)
<i>Ruminococcus albus</i>	Pc, Cel	Ac, Fo, Etanol (Et)
<i>Ruminococcus flavefaciens</i>	Pc, Cel	Su, Fo, Ac
<i>Butyrivibrio fibrisolvens</i>	Pc, Cel, Hemicelulose (Hemicel), amido (Am), Pectina (Pec), Açúcares diversos (AD)	Butirato (Bu), Fo, Lactato (La), Ac
<b>Fermentadores de carboidratos não estruturais</b>		
<i>Ruminobacter amylophilus</i>	Amido (Am)	Su, Fo, Ac
<i>Selenomonas ruminantium</i>	Am, La, AD	La, Ac, Propionato (Pro), Bu, Hidrogênio (H2)
<i>Prevotella</i> sp.	Am, Hemicel, Pec, Beta-glucanos, Proteínas	Su, Ac, Fo, Pro
<i>Succinomonas amylolytica</i>	Am	Su, Ac, Pro
<i>Succinivibrio dextrinosolvens</i>	Maltodextrinas (Mal)	Su, Ac, Fo, La
<i>Streptococcus bovis</i>	Am, AD	La, Ac, Fo, Et
<i>Eubacterium ruminantium</i>	Mal, AD	Ac, Fo, Bu, La
<i>Megasphaera elsdenii</i>	La, Mal, Aminoácidos (AA)	Ac, Pro, Bu, Ácidos graxos voláteis de cadeia ramificada (AGVR)
<b>Organismos fermentadores de pectinas</b>		
<i>Lachnospira multiparus</i>	Pec, AD	La, Ac, Fo
<b>Lipolíticos</b>		
<i>Anaerovibrio lipolytica</i>	Glicerol (Gli), La	Ac, Su, Pro
<b>Proteolíticos</b>		
<i>Peptostreptococcus</i> sp.	Peptídeos (Pep), AA	AGVR, Ac
<i>Clostridium aminophilum</i>	Pep, AA	Ac, Bu
<i>Clostridium sticklandii</i>	Pep, AA	Ac, Bu, Pro, AGVR
<i>Wolinella succinogenes</i>	Mal, Fumarato	Su
<b>Facultativos</b>		
<i>Lactobacillus</i> sp.	Am, La, AD	La, Ac, Pro, Bu, H2
<i>Enterobacter</i> sp.	Am, La, AD	La, Ac, Pro, Bu, H2
<i>Streptococcus</i> sp.	Am, La, AD	La, Ac, Pro, Bu, H2
<b>Archaea (metanogênicas)</b>		
<i>Methanobrevibacter</i> sp.	H2, CO2, Fo	Metano (CH4)
<i>Methanosarcina</i> sp.	H2, CO2, Ac, Metanol, metilaminas	CH4
<i>Methanomicrobium</i> sp.	H2, CO2, Fo	CH4
<i>Methanobacterium</i> sp.	H2, CO2	CH4

Fonte: Arcuri et al., 2006.



na utilização de celulose, hemicelulose, amido, açúcares, ácidos, proteínas, lipídeos e pela produção de metano, amônia e outros. Muitas espécies são capazes de atuar em mais de um substrato (Teixeira e Teixeira, 2001). Os principais grupos de bactérias ruminais, e mais estudados, estão relacionados com o processo de degradação da fibra vegetal (Arcuri et al., 2006). Na Tabela 2, estão sumarizadas as características mais importantes de espécies estudadas de bactérias ruminais e organismos Archeae.

### 6.1.2. Protozoários

Os protozoários são microrganismos unicelulares, anaeróbios estritos, não patogênicos, com tamanho variando de 20 a 200  $\mu\text{m}$  (dez a 100 vezes maior que as bactérias). Apresentam organização interna complexa e altamente diferenciada, com estruturas funcionais similares à boca, esôfago, estômago, reto e ânus. Em algumas espécies pode ocorrer uma placa rígida, semelhante a um esqueleto. A população de protozoários do conteúdo ruminal varia em concentração, entre  $10^4$  e  $10^6$  células/mL de conteúdo ruminal. Devido ao seu tamanho, a concentração de protozoários representa, em geral, de 40% a 60% da biomassa microbiana total do rúmen (Dehority, 1993; Teixeira e Teixeira, 2001; Ezequiel et al., 2002).

*A população de protozoários do conteúdo ruminal varia em concentração, entre  $10^4$  e  $10^6$  células/mL de conteúdo ruminal.*

A classificação dos protozoários do rúmen, adotada pela maioria dos pesquisadores, é baseada na morfologia da célula. Normalmente, os protozoários encontrados no rúmen são da classe dos Ciliados e pertencem à família *Isotrichidae* (na qual os gêneros *Isotricha* e *Dasytricha* prevalecem em maior quantidade no rúmen) e a família *Ophryoscolecidae* (em que os gêneros *Entodinium*, *Diplodinium*, *Epidinium* e *Ophryoscolex* prevalecem) (Church, 1988).

Os ciliados são microrganismos bastante versáteis e apresentam muita habilidade na degradação e fermentação de um grande número de substratos, como celulose, hemicelulose, pectinas, amido, açúcares solúveis e lipídeos (Tab. 3). Todos os protozoários armazenam

uma grande quantidade de amido, que é usado como fonte de energia; são proteolíticos e excretam aminoácidos e amônia como produto final da digestão de proteína.

Alguns protozoários são celulolíticos, mas os principais substratos utilizados pela fauna ruminal como fonte de energia são os açúcares e amidos, que são assimilados rapidamente e estocados na forma de amilopectina ou amido protozoário. Portanto desempenham importante função como efeito tampão, pois diminui o acesso das bacté-

**Tabela 3. Substrato utilizado e produto final obtido por protozoários encontrados no rúmen**

PROOZOÁRIO (Gêneros)	SUBSTRATO FERMENTADO	PRODUTO FINAL
Isotricha		
intestinalis	Amido, Glu, Pec, Sacarose	Ac, Pr, Bu, La, H2, Lip
prostoma	Amido, Glu, Pec, Sacarose	Ac, Pr, Bu, La, H2, CO2, Lip
Dasytricha		
ruminantium	Amido, Maltose, Glu, Cel	Ac, Bu, H2, CO2, Lip
Entodinium		
bursa	Amido, Hemicelulose	-
caudatum	Amido, Glu, Cel, Maltose	Ac, Pr, Bu, H2, CO2, Lip
simplex	Amido	Lip
Diplodinium		
Polyplastron	Amido, Glu, Celu, Sacarose	Ac, Pr, Bu, La, H2, CO2
Diplodinium	Amido, Celu, Hemicelulose	-
Diploplastron	Amido, Celu, Hemicelulose	-
Eudiplodinium	Amido, Celu, Hemicelulose	Ac, Pr, Bu, La, H2, CO2, Fo
Ostracodinium	Amido, Celu, Hemicelulose	-
Eremoplastron	Amido, Celu, Hemicelulose	-
Epidinium		
ecaudatum	Amido, Celu, Hemicelulose Maltose e Sacarose	Ac, Pr, Bu, H2, Lip, La, Fo
Ophryoscolex		
caudatus	Amido, Celu, Hemicelulose	Ac, Pr, Bu, H2

Fonte: Adaptado de Church, 1988. As abreviaturas mostradas no quadro significam: Ac – ácido acético; Pr – propiônico; Bu – butírico; La – lactato; Lip – lipídeo; Fo – fórmico; Glu – glicose; Cel – celobiose; Celu – celulose; Pec – pectina. Nos produtos finais, as siglas em negrito indicam produtos finais em quantidades importantes, e as siglas sem negrito indicam vestígios.

rias a uma quantidade excessiva de substratos prontamente fermentáveis. Dessa forma, a presença de protozoários no rúmen diminui o risco de acidose em dietas ricas em grãos e açúcares (Arcuri et al., 2006).

Pode-se destacar como efeito benéfi-

co da presença de protozoários no rúmen os seguintes aspectos:

*Efeito benéfico da presença de protozoários no rúmen: o aumento da estabilidade da fermentação e do pH, as concentrações de AGVs elevadas e estáveis, a degradação da matéria seca, a degradação de fibras e a digestão do amido.*

- o aumento da estabilidade da fermentação e do pH;
- aumento das concentrações de AGVs elevada e estável;
- aumento da degradação da maté-

- ria seca e de fibras;
- aumento da digestão do amido e diminuição das concentrações de ácido láctico;
  - diminuição dos níveis de cobre no plasma sanguíneo e fígado;
  - diminuição da susceptibilidade a acidose por ácido láctico;
  - diminuição da susceptibilidade a toxidez por cobre e
  - diminuição da susceptibilidade a diarreias.

Ocorrem também alguns efeitos adversos com a presença de protozoários no rúmen, como o aumento da concentração de amônia, da atividade proteolítica, da metanogênese, dos níveis plasmáticos de ácidos graxos saturados, da susceptibilidade ao timpanismo e de gordura na carcaça, e diminuição da população bacteriana, da síntese de proteína microbiana, do fluxo de nitrogênio para o intestino delgado, de níveis plasmáticos de ácidos graxos insaturados, de ganho de peso e da eficiência de conversão alimentar (Arcuri et al., 2006).

### 6.1.3. Fungos

Orpin (1975) foi o primeiro pesquisador a demonstrar que alguns dos microrganismos encontrados no ecossistema ruminal de carneiros, que se acreditavam serem protozoários flagelados, eram de fato zoósporos de Fungos Phycomycetos anaeróbicos. A partir

*A fermentação é o resultado da atividade física e microbiológica que converte os componentes dietéticos em ácidos graxos voláteis (AGVs).*

desses estudos, algumas pesquisas foram desenvolvidas com carneiros e bovinos, em que se observou a presença desses microrganismos. Pouco ainda se sabe sobre a importância dos fungos no processo fermentativo, mas existem evidências de que esses fungos participam ativamente no rompimento físico da fibra por meio de rizoides ou hifas durante o processo de degradação das forragens (Akin, 1988; Akin e Benner, 1988) e estão presentes em grande número quando a dieta é rica em forragens. As principais espécies identificadas são *Neocallimatrix frontalis*, *Sphaeromonas communis* e *Piromonas communis*, que degradam os carboidratos e são capazes de atacar os tecidos vasculares lignificados (Akin e Rigsby, 1987).

## 6.2. Fermentação Ruminal

A fermentação é o resultado da atividade física e microbiológica que converte os componentes dietéticos em ácidos graxos voláteis (AGVs), proteína microbiana e vitaminas do complexo B e vitamina K, metano e dióxido de carbono, amônia, nitrato, etc. (Owens e Goetsch, 1988).

A manutenção de uma população microbiana ruminal ativa depende de algumas características ruminais que são mantidas pelo animal hospedeiro, como

o suprimento de alimentos mastigados ou ruminados, a remoção dos produtos da fermentação, a adição de tamponantes e nutrientes via saliva, a remoção de resíduos indigestíveis dos alimentos e a manutenção do pH, temperatura, anaerobiose e umidade ideais ao crescimento microbiano (Valadares Filho e Pina, 2006).

### 6.2.1. Ácidos graxos voláteis

Os AGVs são produtos do metabolismo microbiano e são muito importantes para o hospedeiro, pois suprem de 60 a 80% do requerimento energético dos ruminantes. Dessa forma, é importante que o hospedeiro tenha boa capacidade de absorção desses AGVs. O epitélio dos pré-estômagos oferece um ótimo sistema que absorve quase todos os AGVs produzidos, com escape de pequenas quantidades para as vias digestivas inferiores. Para isso, o epitélio ruminal é organizado em papilas, que possuem a mesma função de expansão da área que as vilosidades do intestino delgado, sendo o crescimento papilar estimulado pelos AGVs. Portanto dietas com alta digestibilidade resultam em altas concentrações ruminais de AGVs, o que estimula o desenvolvimento das papilas (Furlan et al., 2006).

Os ácidos do rúmen, que são normalmente classificados como ácidos

*Os AGVs são produtos do metabolismo microbiano suprem de 60 a 80% do requerimento energético dos ruminantes.*

graxos voláteis, incluem o ácido fórmico, acético, butírico, isobutírico, 2 – metilbutírico, propiônico, valérico, isovalérico e traços de ácidos graxos com 6 e 8 carbonos. A concentração molar por ordem decrescente de

quantidade é de: acético, propiônico e butírico, com pequenas quantidades de isobutírico e isovalérico. De uma maneira geral, podemos observar que os produtos finais da fermentação ruminal são similares em suas proporções molares em diferentes espécies de ruminantes (Teixeira e Teixeira, 2001).

A quantidade de ácidos graxos voláteis presentes no conteúdo do retículo-rúmen é um reflexo da atividade microbiana e da absorção ou passagem através da parede ruminal. Após a ingestão de alimentos rapidamente fermentáveis, aumenta rapidamente a atividade microbiana, resultando em um aumento na concentração de ácidos graxos voláteis. A fermentação da alimentação afeta a concentração de AGV no rúmen. Outro fator que altera o perfil dos AGVs está relacionado com a dieta, que pode determinar a predominância de determinado ácido. Assim, alimentos peletizados ou grãos tratados pelo calor produzirão um aumento na concentração de ácido propiônico. Já em dietas à base de silagens, fenos e pastagens ocorrerá um aumento na concentração

de ácido acético, ao passo que um alto nível de ingestão de proteína provocará um aumento na concentração de ácido propiônico.

Mudanças drásticas na dieta usualmente resultam em mudanças marcantes na produção de bactérias e protozoários (o que pode influenciar na composição dos produtos finais); no método de processamento do alimento (aquecimento do amido e proteína ou gelatinização do amido), aditivos químicos e outros fatores (Teixeira e Teixeira, 2001).

Na Figura 1 podem ser visualizadas as principais rotas de fermentação de carboidratos no rúmen e seus produtos finais (Valadares Filho e Pina, 2006).

Os ruminantes absorvem mais acetato e têm menos glicose no sangue em relação aos não ruminantes. A principal diferença no metabolismo entre eles origina-se da disponibilidade e papel do acetato e glicose como precursores do acetil-CoA, para uso nos processos de oxidação ou síntese, tal como a lipogênese. Somente pequena quantidade de acetato absorvido é utilizada pelo fígado dos ruminantes. Isso concorda com a baixa atividade da acetil-CoA sintetase no fígado de ruminantes em relação ao tecido adiposo e músculo e, similarmente, a lipogênese em ruminantes é quase que totalmente realizada no tecido adiposo. Portanto,

*Mudanças drásticas na dieta usualmente resultam em mudanças marcantes na produção de bactérias e protozoários.*

em ruminantes, o tecido adiposo e não o fígado é o grande utilizador de acetato (Bergman, 1990). Em ruminantes, o carbono do acetato é incorporado a ácidos graxos tanto pelo tecido adiposo como pela glândula mamária de animais lactantes, muitas vezes mais rápido que o carbono proveniente da glicose (Valadares Filho e Pina, 2006).

O propionato e o butirato são metabolizados pelos epitélios ruminal e intestinal e pelo fígado. O butirato é grandemente removido pelos epitélios ruminal e intestinal, enquanto a maior parte do propionato é absorvida pelo fígado. Muito pouco desses AGVs escapam para a circulação em geral e, dessa forma, o acetato representa de 90% a 100% do total de AGVs na circulação arterial (Bergman, 1990).

O metabolismo do butirato pelo fígado envolve a enzima butiril-CoA sintetase para sua conversão em butiril-CoA que então pode ser convertido em acetil-CoA, ácidos graxos de cadeia longa ou corpos cetônicos (Valadares Filho e Pina, 2006). Bergman e Kon (1964) relataram que pelo menos um quinto do butirato injetado intravenosamente em carneiros foi usado na cetogênese hepática, sendo o restante oxidado ou usado para lipogênese.

A atividade da propionil-CoA sintetase no fígado de ruminantes é alta e

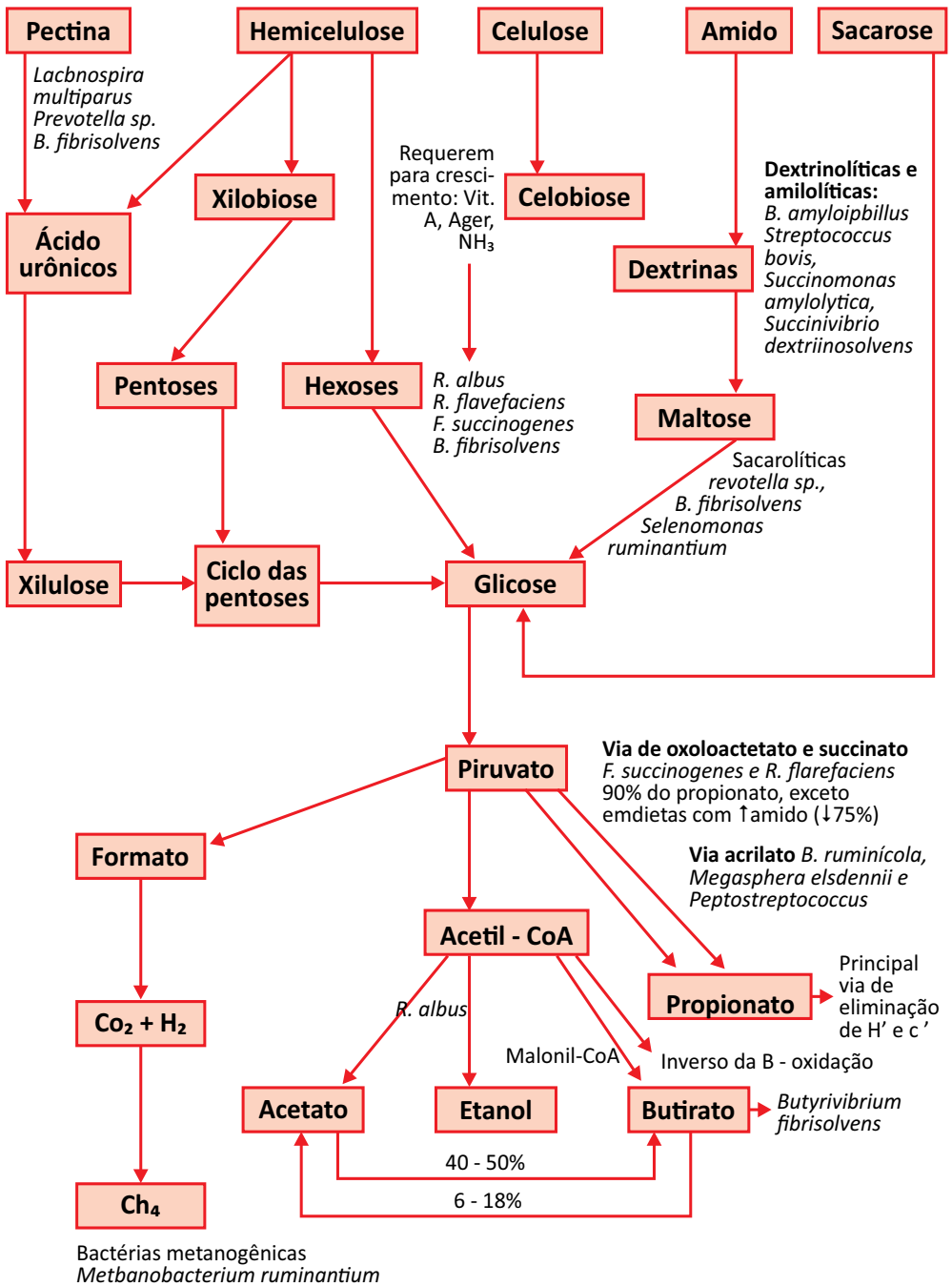


Figura 1. Principais rotas de fermentação de carboidratos no rúmen e seus produtos finais. Adaptado de Valadares Filho e Pina (2006).

a maioria do propionato é removida do sangue portal pelo fígado. A rota usual para o metabolismo do propionato é entrar no ciclo de Krebs como succinil-CoA e por reações bioquímicas originarem o oxaloacetato, que pode ser utilizado para formar glicose pela via gliconeogênica. O propionato é o principal precursor da glicose em ruminantes, e o acetato, o butirato e ácidos graxos de cadeia longa com um número par de átomos de carbono não podem contribuir para uma síntese líquida de glicose (Valadares Filho e Pina, 2006).

### 6.3. Gases produzidos na fermentação ruminal

Está bem estabelecido que, durante a fermentação ruminal, ocorre a formação de uma quantidade apreciável de gases no retículo-rúmen. A produção de gases atinge um pico de até 40 l/h nos bovinos 2 a 4 horas após a ingestão do alimento e quando a fermentação está em sua taxa máxima. Os principais gases produzidos são dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), que corresponde a 60%, e o metano ( $\text{CH}_4$ ), que varia de 30 a 40% da produção desses gases.

*Os principais gases produzidos são dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), que corresponde a 60%, e o metano ( $\text{CH}_4$ ), que varia de 30 a 40% da produção desses gases.*

Possuem ainda quantidades variáveis de nitrogênio ( $\text{N}_2$ ), com traços de ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ), hidrogênio ( $\text{H}_2$ ) e oxigênio ( $\text{O}_2$ ). O  $\text{CO}_2$  origina-se das reações de descarboxilação, durante a fermentação, e das reações de neutralização do  $\text{H}^+$  pelo

$\text{HCO}_3^-$  oriundo da saliva ou secretado pelo epitélio ruminal, durante a absorção de AGVs. O  $\text{CH}_4$  é oriundo da redução do  $\text{CO}_2$  e formado pelas bactérias metanogênicas (Leek, 1996; Valadares Filho e Pina, 2006).

#### 6.3.1. Metano

Os ruminantes, devido ao processo digestivo de fermentação entérica, são reconhecidos como importante fonte de emissão de metano ( $\text{CH}_4$ ) para a atmosfera. Além disso, a produção desse gás, que pode variar em função do sistema de alimentação, é considerada uma parte

perdida da energia do alimento, refletindo em ineficiência na produção animal (Pedreira et al., 2005). Dessa forma, vários estudos estão sendo feitos em relação à diminuição da produção desse gás com o intuito de diminuir impactos ambientais, principalmente sobre o efeito estufa.

*As maiores fontes de emissão de  $\text{CH}_4$ , considerando as atividades agrícolas, são representadas pela fermentação entérica em ruminantes, produção de arroz em terrenos alagados e fermentação de dejetos da pecuária.*

As maiores fontes de emissão de  $\text{CH}_4$ , considerando as atividades agrícolas, são representadas pela fermentação entérica em ruminantes, produção de arroz em terrenos alagados e fermentação de dejetos da pecuária (Olesen et al., 2006). De acordo com Harper et al. (1999), a produção de arroz em terrenos alagados contribui com 11% do total de  $\text{CH}_4$  liberado para a atmosfera, a fermentação entérica em animais com 16% e a fermentação de dejetos, com 17%.

Cotton e Pielke (1995) caracterizaram o  $\text{CH}_4$  como um importante gás de efeito estufa, contribuindo com cerca de 15% para o aquecimento global e tem relação direta com a eficiência da fermentação ruminal em virtude da perda de carbono e, conseqüentemente, perda de energia, determinando maior ou menor desempenho animal.

As emissões globais geradas a partir dos processos entéricos são estimadas em 80 milhões de toneladas por ano (USEPA, 2000), correspondendo aproximadamente a 22% das emissões totais de metano geradas por fontes antrópicas, representando 3,3% do total dos gases de efeito estufa, desempenhando importante papel nas modificações climáticas no mundo, exemplificadas especialmente pelo contínuo aumento do aquecimento global (Pedreira et al., 2005).

*As Archaea  
metanogênicas,  
responsáveis pela  
produção de  $\text{CH}_4$ .*

Para o Brasil, em 1990, foram estimadas emissões de 7,9 Tg de metano proveniente da fermentação entérica de animais, correspondendo a 96,3% do total de  $\text{CH}_4$  emitido pela pecuária, sendo o gado de corte responsável por 81,1% dessa emissão. Em 1995, foram estimadas emissões de 9,2 Tg de  $\text{CH}_4$  gerado pela pecuária, considerando os efetivos de ruminantes (bovinos, bubalinos, ovinos, caprinos) e os animais monogástricos (equinos, asininos, muaras e suínos) e seus dejetos, sendo que 96% desse total foram atribuídos à fermentação entérica, em que o gado de corte foi responsável por 81,6%, contribuindo com a emissão de 7,1 Tg de metano (Pedreira et al., 2005; Pedreira e Primavesi, 2006).

### 6.3.2. Síntese de metano no rúmen

As Archaea metanogênicas, responsáveis pela produção de  $\text{CH}_4$ , formam um grupo distinto de microrganismos, possuindo cofatores (coenzima M, F420, F430) e lipídeos (ésteres de isopranyl glicerol) únicos (McAllister et al., 1996). A parede celular desses microrganismos é composta por pseudomureína, proteína, glicoproteína ou heteropolissacarídeos, e a seqüência de nucleotídeos indica uma evolução inicial distinta das bactérias (Ishino et al., 1998). No rúmen, as Archaea são encontradas intimamente



associadas com protozoários ciliados e em justaposição com bactérias, não sendo essa, no entanto, uma localização obrigatória (Finlay et al., 1994). Para Ushida e Jouany (1996), as metanogênicas podem ser encontradas tanto aderidas na superfície celular dos protozoários como na fase intracelular destes. Espécies metanogênicas têm grande afinidade em sintetizar  $\text{CH}_4$  a partir de  $\text{H}_2$  e  $\text{CO}_2$  para gerar suas necessidades energéticas para o crescimento (Miller, 1995). Elas também têm a capacidade de sintetizar  $\text{CH}_2$  a partir do formato e, em menor grau, a partir do metanol, mono-, di- e tri-metilamina e acetato, mas é a redução do  $\text{CO}_2$  a via preferencial. A conversão anaeróbia da matéria orgânica em  $\text{CH}_4$  no rúmen envolve um consórcio de microorganismos ruminais, com a etapa final realizada pelas metanogênicas (McAllister et al., 1996).

As metanogênicas então removem  $\text{H}_2$  e reduzem  $\text{CO}_2$  para formar  $\text{CH}_4$ . Produzindo  $\text{CH}_4$ , mantêm a concentração baixa de hidrogênio no rúmen, o que permite às bactérias metanogênicas promover o crescimento de outras espécies bacterianas e prover uma fermentação mais eficiente (Teixeira et al., 1998). Os principais

efeitos adversos do acúmulo de  $\text{H}_2$  no rúmen incluem a inibição da reoxidação do NADH e o acúmulo de lactato ou etanol, o que proporciona queda de pH, tendo como consequência a redução da eficiência do crescimento de microrganismos que degradam a fibra da dieta. Portanto, o  $\text{CH}_4$  é um subproduto da fermentação ruminal, e sua produção serve como principal “dreno” de hidrogênio (Johnson e Johnson, 1995).

Apesar da importância em reduzir o  $\text{H}_2$  ruminal, o metano pode ser responsável por perda de energia bruta da dieta durante o processo fermentativo. Dietas que possuem grande participação de volumosos podem representar perdas energéticas para os animais em relação à energia inicial consumida, que variam de 6 a 18% (Owens e Goetsch, 1988). De acordo com Johnson e Johnson (1995), em dietas compostas por cerca de 90% de alimentos concentrados, as perdas de energia na forma de  $\text{CH}_4$  podem ser variáveis, encontrando-se perdas em torno de 2 a 3%, o que representa aproximadamente a metade do valor normalmente relatado (6%).

O uso de algumas tecnologias, como a manipulação de dietas, aumento da eficiência produtiva, uso de aditi-

*O uso de algumas tecnologias, como a manipulação de dietas, aumento da eficiência produtiva, uso de aditivos alimentares e manejo dos animais, podem influenciar na síntese de metano ruminal.*

vos alimentares e manejo dos animais, podem influenciar na síntese de metano ruminal e serão discutidos nos capítulos posteriores.

### 6.3.3. Síntese de metano no intestino grosso

Os animais ruminantes apresentam no intestino, especialmente no ceco, um ecossistema que se assemelha em muito ao ecossistema ruminal, em que ocorre um processo fermentativo muito intenso. Nesse compartimento, como também no colo e no reto, há uma predominância de espécies anaeróbicas com uma predominância de bactérias, que, em sua maioria, são espécies encontradas no rúmen (Teixeira e Teixeira, 2001).

A proporção da dieta digerida no intestino grosso geralmente aumenta quando uma dieta de pior qualidade é oferecida. A digestão fermentativa ocorre principalmente no ceco e cólon proximal, sendo o tempo de permanência da digesta muito inferior ao do rúmen. O intestino grosso é responsável por cerca de 12 a 17% da produção de AGV e de 6 a 14% da produção de  $\text{CH}_4$  do animal por dia (Immig, 1996). Desse total, aproximadamente 89% são absorvidos pelo sangue e expirados através dos pulmões, indicando que, apesar de haver produção de  $\text{CH}_4$  no trato digestório posterior, a maior parte (98%) do total de  $\text{CH}_4$  produzido é expirado pela boca e orifícios nasais.

## 7. Considerações Finais

A fermentação ruminal é de extrema importância para que os animais ruminantes consigam digerir alimentos fibrosos. Os compostos produzidos durante a fermentação podem sofrer alterações por diversos fatores, como tipo de alimento, relação volumoso:concentrado, tamanho de partículas, uso de aditivos, entre outros. Dessa forma, através de estudos de manipulações desses fatores, podemos proporcionar maiores produções de leite e carne, com menores produções de metano pelos animais ruminantes e, conseqüentemente, gerar menos poluição ao meio ambiente oriunda da pecuária.

## 8. Referências bibliográficas

1. AKIN, D.E. Biological structure of lignocelluloses and its degradation in the rumen. *Animal Feed Science and Technology*, 21:295, 1988.
2. AKIN, D.E.; BENNER, R. Degradation of polysaccharides and lignin by ruminal bacteria and fungi. *Applied and Environmental Microbiology*, 54:1117, 1988.
3. AKIN, D.E.; RIGSBY, L.L. Mixed fungal populations and lignocellulosic tissue degradation in the bovine rumen. *Applied and Environmental Microbiology*, 53:1987, 1987.
4. ARCURI, P.B.; LOPES, F.C.F.; CARNEIRO, J.C. Microbiologia do rúmen. In: BERCHIELLI, T.T.; PIRES, A.V.; OLIVEIRA, S.G. *Nutrição de Ruminantes*. Jaboticabal: Funep, 2006, p.111-150.
5. BALCH, C.C. Proposal to use time spent chewing, as an index of the extent to which diets for ruminants possess the physical property of fibrousness characteristics of roughages. *British Journal of Nutrition*, 26: 383, 1971.
6. BERGMAN, E.N. Energy contributions of volatile fatty acids from the gastrointestinal tract in various species. *Physiological Reviews*, 70: 567, 1990.
7. BERGMAN, E.N.; KON, K. Factors affecting ace-

- toacetate production rates by normal and ketotic pregnant sheep. *American Journal of Physiology*, 206: 453, 1964.
8. CHURCH, D.C. The ruminant animal digestive physiology and nutrition. 2 ed. New Jersey: Prentice Hall, 1988. 564p.
  9. COTTON, W.R.; PIELKE, R.A. Human impacts on weather and climate. Cambridge: Cambridge University, 1995. 288p.
  10. CZERKAWSKI, J.W. An introduction to rumen studies. Oxford: New York: Pergamon Press, 1986, 236p.
  11. DEHORITY, B.A. Laboratory manual for classification and morphology of rumen ciliate protozoa. Boca Raton, Fla: CRC Press. 1993, 325p.
  12. EZEQUIEL, J.M.B.; MELÍCIO, S.P.L.; SANCANARI, J.B.D. et al. Quantificação das bactérias sólido-aderidas, bactérias e protozoários líquidos associados do rúmen de bovinos jovens alimentados com amiréia. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, v.31, n.2, 2002, p.707-715.
  13. FINLAY, B.J.; ESTEBAN, G.; CLARKE, K.J.; WILLIAMS, A.G.; EMBLEY, T.M.; HIRT, R.P. Some rumen ciliates have endosymbiotic methanogens. *FEMS Microbiology Letters*, Delft, v.117, 1994, p.157-161.
  14. FURLAN, R.L.; MACARI, M.; FARIA FILHO, D.E. Anatomia e fisiologia do trato gastrintestinal. In: BERCHIELLI, T.T.; PIRES, A.V.; OLIVEIRA, S.G. *Nutrição de Ruminantes*. Jaboticabal: Funep, 2006, p.1-23.
  15. HARPER, L.A.; DENMEAD, O.T.; FRENEY, J.R.; BYERS, F.M. Direct measurements of methane emissions from grazing and feedlot cattle. *Journal of Animal Science*, Savoy, v.77, 1999, p.1392-1401.
  16. IMMIG, I. The rumen and hindgut as a source of ruminant methanogenesis. *Environmental Monitoring and Assessment*, v.42, 1996, p.57-72.
  17. ISHINO, Y., KOMORI, K., CANN, I.K.O.; KOGA, Y. A novel DNA polymerase family found in Archaea. *Journal of Bacteriology*, Washington, v.180, 1998, p.2232-2236.
  18. JOHNSON, K.A.; JOHNSON, D.E. Methane emissions from cattle. *Journal of Animal Science*, Savoy, v.73, 1995, p.2483-2492.
  19. LEEK, B.F. Digestão no estômago de ruminantes. In: SWENSON, M.J.; REECE, W.O. (Eds.). *Dukes: Fisiologia dos Animais Domésticos*. 11ª edição, Guanabara-Koogan, RJ, 1996, p.353-376.
  20. McALLISTER, A.T., OKINE, E.K., MATHISON, G.W.; CHENG, K.J. Dietary, environmental and microbiological aspects of methane production in ruminants. *Canadian Journal of Animal Science*, Ottawa, v.76, 1996, p. 231-243.
  21. MILLER, T.L. Ecology of methane production and hydrogen sink in the rumen. In: ENGELHARDT, W. V., LEONHARD-MAREK, S., BREVES, G., GIESSECKE, D. (Ed). *Ruminant Physiology: Digestion, metabolism, growth and reproduction*. Stuttgart: Ferdinand Enke Verlag. 1995. p. 317-332.
  22. OLESEN, J.E.; SCHELDE, K.; WEISKE, A.; WEISBJERG, M.R.; ASMAN, W.A.H.; DJURHUUS, J. Modelling greenhouse gas emissions from European conventional and organic dairy farms. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Amsterdam, v.112, 2006, p.207-220.
  23. ORPIN, C.G. Studies on the rumen flagellate *Neocallimastix frontalis*. *Journal of General Microbiology*, 91: 249, 1975.
  24. OWENS, F.N.; GOETSCH, A.L. Ruminant fermentation. In: CHURCH, D.C. *The ruminant animal digestive physiology and nutrition*. New Jersey: Prentice Hall, 1988. p.145-171.
  25. PEDREIRA, M.S.; OLIVEIRA, S.G.; BERCHIELLI, T.T.; PRIMAVESI, O. Aspectos relacionados com a emissão de metano de origem ruminal em sistemas de produção de bovinos. *Archives of Veterinary Science*, v. 10, n. 3, 2005, p. 24-32.
  26. PEDREIRA, M.S.; PRIMAVESI, O. Impacto da produção animal sobre o ambiente. In: BERCHIELLI, T.T.; PIRES, A.V.; OLIVEIRA, S.G. *Nutrição de Ruminantes*. Jaboticabal: Funep, 2006, p.497-510.
  27. TEIXEIRA, J.C. *Fisiologia Digestiva dos Animais Ruminantes*. Lavras: UFLA - FAEPE, 1996, 270p.
  28. TEIXEIRA J.C. & TEIXEIRA L.F.A.C. Do alimento ao leite: entendendo a função ruminal. Lavras: UFLA-FAEPE, 1998, 74p.
  29. TEIXEIRA, J.C.; TEIXEIRA, L.F.A.C. *Princípios de nutrição de bovinos leiteiros*. Lavras: UFLA - FAEPE, 2001, 245p.
  30. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - USEPA. Evaluating Ruminant Livestock Efficiency Projects and Programs In: PEER REVIEW
  31. DRAFT. Washington, D.C, 2000, 48p.
  32. USHIDA, K.; JOUANY, J.P. Methane production associated with rumen-ciliated protozoa and its effect on protozoan activity. *Letters Applied Microbiology*, Oxford, v.23, 1996, p.129-132.
  33. VALADARES FILHO, S.C.; PINA, D.S. Fermentação ruminal. In: BERCHIELLI, T.T.; PIRES, A.V.; OLIVEIRA, S.G. *Nutrição de Ruminantes*. Jaboticabal: Funep, 2006, p.151-182.
  34. VAN SOEST, P.J. *Nutritional ecology of the ruminant*. 2 ed. Ithaca: Cornell University Press, 1994, 476p.

# 3. Redução da emissão de metano pelos ruminantes: o papel de aditivos, fatores nutricionais e alimentos

Heloisa Carneiro<sup>1,\*</sup>, PhD - CRMV-MG Z0512

Marcio Roberto Silva<sup>1</sup>, Dr. - CRMV-MG 5558

Letícia Scafutto de Faria<sup>2</sup>

\* Email para contato: [heloisa.carneiro@embrapa.br](mailto:heloisa.carneiro@embrapa.br)

<sup>1</sup> Pesquisadores da Embrapa Gado de Leite

<sup>2</sup> Estagiária da Embrapa Gado de Leite

## 1. Introdução

A ação do homem vem alterando as concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera, provocando aquecimento da superfície terrestre. A agricultura e a pecuária são grandes contribuintes para as emissões antrópicas de metano ( $\text{CH}_4$ ) à atmos-

fera, que foram estimadas em 16% segundo Longo (2007). A interação entre os fatores de produção animal e o impacto ambiental causado pelas diversas atividades tem sido, cada vez mais, o objetivo de pesquisas relacionadas com as mudanças climáticas mundiais. Na agricultura são forma-

dos diversos gases colaboradores do efeito estufa, como o óxido nítrico ( $N_2O$ ), dióxido de carbono ( $CO_2$ ) e metano ( $CH_4$ ). A formação desses gases é ocasionada pela fermentação entérica (no rúmen), dejetos, respiração do solo, adubação com fertilizantes, desmatamento, queimadas etc. O  $CH_4$  é um dos gases produzidos pela fermentação entérica anaeróbica de alimentos de vários animais, principalmente os ruminantes, dentre os quais estão os bovinos, caprinos e ovinos. Realmente os ruminantes são eficientes na produção de metano, porém essa produção evoluiu com a espécie e é necessária para evitar a intoxicação do animal. O problema é que esse gás apresenta um potencial de “efeito estufa” 21 vezes maior do que o dióxido de carbono ( $CO_2$ ).

Estima-se que a população mundial de ruminantes é responsável pela produção de 15% de todo o gás metano da atmosfera. As emissões globais de  $CH_4$  geradas a partir dos processos entéricos são estimadas em 80 milhões de toneladas anuais (USEPA, 2004), correspondendo aproximadamente a 22% das emissões totais de  $CH_4$  por fontes an-

*A formação desses gases é ocasionada pela fermentação entérica (no rúmen), dejetos, respiração do solo, adubação com fertilizantes, desmatamento, queimadas etc.*

trópicas, representando 3,3% do total dos gases de efeito estufa. O Brasil possui o maior rebanho bovino comercial do mundo, estimado em cerca de 202 milhões de cabeças de gado, ocupando pouco mais de 172 milhões de hectares, sendo que 88% da carne bovina produzida no país são provenientes de rebanhos mantidos exclusivamente a pasto, que normalmente produzem mais  $CH_4$  pelo fato de geralmente serem submetidos a desbalanços nutricionais. Diante desses números, a pecuária tem sido apontada como uma das atividades que mais prejudicam o meio ambiente. Os impactos negativos causados pela bovinocultura estão relacionados com o principal meio de produção adotado no Brasil, o sistema extensivo (Zen *et al.*, 2008). Por esse fato, o Brasil tem sido apontado como grande contribuinte em emissão de  $CH_4$ .

Preocupadas com as mudanças climáticas geradas pelo aumento dos gases de efeito estufa (GEE), muitas nações desenvolvidas do mundo redigiram e assinaram em 1997 o Protocolo de Kyoto. O tratado pretendia

*Estima-se que a população mundial de ruminantes é responsável pela produção de 15% de todo o gás metano da atmosfera.*

reduzir as emissões de GEE em 5% sobre o total produzido pelo país em 1990, com validade durante o período de 2008 a 2012. O Brasil foi o 77º país a ratificar o Protocolo, em junho de 2002, porém ele está incluído no grupo dos países que irão receber incentivos para não poluir ainda mais o meio ambiente.

Os ruminantes, devido ao processo digestivo de fermentação entérica, são reconhecidos como importantes fontes de emissão de CH<sub>4</sub> à atmosfera. Além disso, a produção desse gás, que pode variar em função do sistema de alimentação, é considerada uma perda da energia do alimento, refletindo em ineficiência na produção animal. Essas perdas de energia são estimadas em cerca de 2 a 12% do consumo de energia bruta ingerida (Johnson e Johnson, 1995).

A fermentação microbiana dos ruminantes desempenha um papel importante em capacitar os ruminantes para utilizar os substratos fibrosos, que fornecem ao animal hospedeiro uma gama substancial de nutrientes, necessários para a produção de carne e de leite, além de potenciais consequências deletérias ambientais causadas pela emissão de gases de efeito estufa resultante da degradação de proteína dietética, levando à excreção excessiva de nitrogênio (N) nas fezes e urina. Adicionalmente, resulta na produção de CH<sub>4</sub>, um importante gás entre os

responsáveis pelo efeito estufa, e substancial perda energética na forma de CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub> (Steinfeld *et al.*, 2006).

A população microbiana no rúmen é caracterizada por uma população altamente diversificada de bactérias, protozoários, fungos e espécies como as *archaea metanogênica*. O rúmen de um adulto ruminante contém 10<sup>9</sup>-10<sup>10</sup> células bacterianas/mL, 10<sup>5</sup> a 10<sup>6</sup>/mL de protozoários e, pelo menos, seis gêneros de fungos anaeróbios (10<sup>3</sup> a 10<sup>4</sup> células/mL) (Hobson e Stewart, 1997). Devido à importância da fermentação ruminal, grande esforço tem sido dedicado a investigar métodos para manipular esse complexo ecossistema. Uma vasta gama de aditivos tem sido investigada, mas, impulsionados por preferências do consumidor para sistemas de produção mais “naturais”, estudos recentes tendem a concentrar-se em extratos de probióticos e plantas como manipuladores de dietas destinadas a ruminantes. Aqui, apresentamos dados sobre a importância da fermentação no rúmen, tanto em termos de nutrição do hospedeiro quanto no contexto ambiental. Uma ampla quantidade de aditivos está disponível, dos quais os que se baseiam em probióticos têm sido de longe os mais bem-sucedidos comercialmente. No entanto, recentemente é crescente a preocupação em relação à possível propagação da resistência aos antibióticos, a partir de

animais, para a população em geral. Assim, autoridades governamentais têm proibido o uso desses antibióticos e/ou promotores de crescimento em sistemas de produção animal, e isso tem levado a um interesse renovado na área de manipulação do rúmen por métodos mais “naturais”.

Atualmente, estudos com biologia molecular têm permitido consideráveis avanços na identificação da microbiologia ruminal, permitindo entender melhor seu funcionamento, e, dessa forma, novas abordagens para a manipulação ruminal têm sido propostas.

Os estudos tradicionais em microbiologia ruminal têm contado com a capacidade de cultivar *in vitro* e caracterizar os microrganismos do rúmen (Hobson e Stewart, 1997). No entanto, embora seja um progresso significativo dessas técnicas ao longo dos anos, tem se reconhecido que apenas uma proporção relativamente pequena dos microrganismos é recuperada por tais técnicas, mostrando que ainda estamos distantes de compreender as funções e as atividades da grande maioria do ecossistema ruminal (Edwards *et al.*, 2008).

Recentemente, as técnicas moleculares baseadas na amplificação de genes ribossomais têm permitido ambos os

*Autoridades governamentais têm proibido o uso desses antibióticos e/ou promotores de crescimento em sistemas de produção animal, e isso tem levado a um interesse renovado na área de manipulação do rúmen por métodos mais “naturais”.*

estudos, quantitativos e qualitativos, sobre as populações microbianas do rúmen. Acredita-se que genes ribossomais possam estar presentes em todas as células e ter regiões que permitem a utilização de iniciadores (primers) universais para amplificar todos os DNA ribossomais microbianos de uma amostra 16S

rRNA, típicos para estudar as bactérias, e 18S rRNA, para estudar fungos e protozoários, altamente conservados, possuindo regiões variáveis que nos permitem distinguir entre diferentes espécies (Edwards *et al.*, 2008). Assim, os usos de tais técnicas vêm para ajudar ainda mais a elucidar o modo e a ação desses extratos de plantas e fungos que vivem no rúmen.

Este artigo tem como objetivo revisar os mecanismos de síntese de metano entérico, assim como os fatores nutricionais que afetam sua produção e redução.

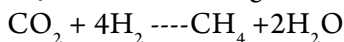
## **2. Digestão dos ruminantes: o processo fisiológico, as perdas energéticas e a produção de metano**

Além das preocupações e pressões ecológicas, a produção do metano consiste em uma forma de perda de energia

digestível (2 a 12%) no sistema ruminal, em virtude da perda de carbono, determinando maior ou menor desempenho animal. A fermentação anaeróbia que ocorre durante o metabolismo dos carboidratos no rúmen, efetuado pela população microbiana, converte os carboidratos em ácidos graxos de cadeia curta, formando principalmente o ácido acético, propiônico e butírico. Devido a esse processo metabólico, produz-se calor, que é dissipado como calor metabólico pela superfície corporal,  $\text{CO}_2$  e  $\text{CH}_4$ , que então são eliminados com os gases respiratórios.

A proporção dos ácidos graxos voláteis (AGVs) está diretamente ligada à dieta, sendo que rações ricas em grãos (carboidratos solúveis) favorecem a maior formação do ácido pro-

piônico, ao passo que rações com alta proporção de alimentos volumosos (carboidratos estruturais) favorecem a produção de ácido acético. Durante a formação do ácido acético e butírico, há grande produção do gás de hidrogênio ( $\text{H}_2$ ); por outro lado, no processo fermentativo onde o produto resultante é o ácido propiônico, há “captura” de  $\text{H}_2$  do meio ambiente. O  $\text{H}_2$  e o  $\text{CO}_2$  resultantes dos processos metabólicos são utilizados pelas bactérias para produzir metano, como se pode observar na reação abaixo e na Figura 1:



Isso resulta em uma relação inversa altamente significativa entre propionato:metano. Geralmente no rúmen, as bactérias são encontradas aderidas aos protozoários ciliados, mostrando uma relação de simbiose,

## Plantas: polissacarídios

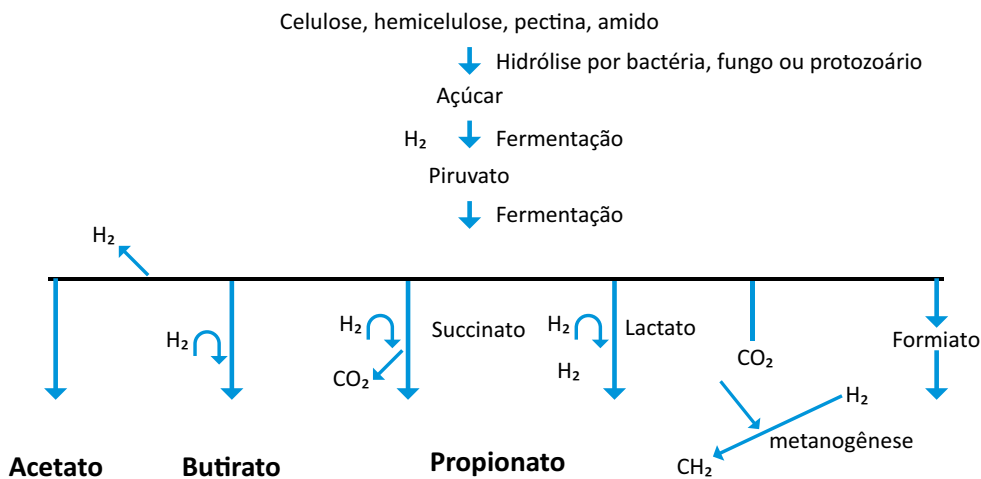


Figura 1. Processo metabólico a partir de carboidrato para formação de metano.



em que as archaeas metanogênicas, por utilizarem o  $H_2$  produzido pelos ciliados, favorecem a manutenção de um ambiente ruminal adequado ao desenvolvimento desses mesmos microrganismos. Além disso, a presença de  $H_2$  prejudica a fermentação e o crescimento das archaeas.

A emissão de metano proveniente de líquido ruminal pode variar em função do tipo de animal, nível de consumo de alimentos, processamento da forragem, adição de lipídeos no rúmen, suprimento de minerais, manipulação da microflora ruminal e da digestibilidade dos alimentos. Segundo Pedreira (2004), a média de emissão anual por categoria animal, subdividindo o gado de corte em fêmeas adultas, machos adultos e jovens, e o gado de leite, é de: 58, 57, 42, 57 kg, respectivamente. Esses dados, por serem de animais de países temperados, subestimam os resultados de estudos realizados pelo pesquisador Odo Primavesi, da Embrapa Pecuária Sudeste, em regiões tropicais, uma vez que as forrageiras utilizadas são distintas, apresentando maiores conteúdos de parede celulares e menores taxas de digestibilidade.

*A emissão de metano proveniente de líquido ruminal pode variar em função do tipo de animal, nível de consumo de alimentos, processamento da forragem, adição de lipídeos no rúmen, suprimento de minerais, manipulação da microflora ruminal.*

### 3. Estratégias para diminuição de metano por ruminantes

O fornecimento de dietas que possuem maior quantidade de carboidratos rapidamente digestíveis, as manutenções de altos níveis de ingestão, a utilização de forragens de melhor qualidade e o melhoramento genético dos animais, priorizando maior desempenho produtivo, podem reduzir a emissão de  $CH_4$ . Estratégias como a redução no número

de animais no sistema de produção, bem como criações que visam produção de carne, devido ao acréscimo no desempenho dos animais, que resultam em menor permanência do animal no sistema, reduzem a produção do gás durante o ciclo de vida. Porém, a estratégia de inclusão de grãos à dieta, para balanceá-la, leva a um incremento

muito maior da emissão de  $CO_2$  proveniente da queima de energia fóssil pelas máquinas envolvidas nos processos de produção e transporte desses alimentos, e pode ser causa também de geração de óxido nitroso (25 vezes mais potente em reter calor que o  $CH_4$ ), oriundo do nitrato gerado pelos fertilizantes nitrogenados aplicados nas lavouras de grãos e pastagens.

Com base nisso, tem sido proposta a utilização de vários recursos alimentares que podem reduzir a emissão de CH<sub>4</sub> pelos ruminantes para o meio ambiente:

**Lipídeos insaturados:** Atua exercendo ação deletéria sobre as *archaeas* metanogênicas e protozoários, além de consumir H<sub>2</sub> pelo processo de bio-hidrogenação, sendo que a intensidade com que ocorre a inibição da produção de CH<sub>4</sub> é determinada pelo grau de saturação da gordura utilizada e a quantidade suplementada. No entanto, alguns pesquisadores citam que a utilização de alimentos comumente fornecidos na dieta animal pode apresentar baixa eficiência como acceptor de elétrons, reduzindo de forma insignificante a metanogênese, inviabilizando assim o emprego da técnica. A suplementação da dieta de ruminantes com lipídios é realizada para aumentar a densidade energética da dieta, geralmente com baixo custo, e para manipular a fermentação ruminal por meio da alteração na digestão e absorção dos nutrientes. O fornecimento de lipídios aos ruminantes geralmente provoca redução na digestibilidade da fibra. De acordo com Jenkins (1993), a digestão dos carboidratos fibrosos pode ser reduzida em até 50% com a adição de menos de 10% de lipídios na dieta. Além disso, ocorre decréscimo na concentração de protozoários, aumento no conteúdo de ácidos graxos voláteis e redução na produção de metano no rúmen, sendo esse comportamento de-

pendente da quantidade e da fonte de lipídio.

A recomendação geral é que a gordura não exceda 6 a 7% da matéria seca (MS) da dieta (Jenkins, 1993; Doreau *et al.*, 1997; NRC, 2001). Em geral, os ácidos graxos insaturados e os de cadeia curta a média apresentam maiores efeitos na fermentação ruminal do que os saturados e os ácidos graxos de cadeia longa, respectivamente, enquanto os sabões de cálcio apresentam mínimos efeitos sobre a fermentação ruminal (Nagaraja *et al.*, 1997). Os ácidos graxos insaturados possuem uma ou mais duplas ligações, são geralmente líquidos à temperatura ambiente e estão presentes em alta concentração em óleos de origem vegetal. Por outro lado, os ácidos graxos saturados não possuem duplas ligações, são geralmente sólidos à temperatura ambiente e prevalecem em fontes de origem animal. Como fonte de ácidos graxos insaturados tem se explorado a utilização da canola com 60% de ácido oleico (C18:1), da soja com 50% de linoleico (C18:2) e da linhaça com 47% de linolênico (C18:3). Adicionalmente, o óleo de coco e o óleo de palma, apesar de serem fontes de origem vegetal, possuem ácidos graxos saturados com 45% de ácido láurico (C12:0) e 40% de palmítico (C16:0), respectivamente, podendo também serem usados para manipular a fermentação ruminal (Hristov *et al.*, 2003).

Vários mecanismos têm sido atri-

buidos para explicar como os lipídios interferem na população microbiana e na fermentação ruminal (Devendra e Lewis, 1974). No entanto, o efeito antimicrobiano e a teoria do “revestimento” da partícula de alimento têm recebido maior atenção (Jenkins, 1993; Nagaraja *et al.*, 1997). A adsorção dos ácidos graxos livres à partícula de alimento inibe o contato direto das células microbianas com o substrato ou a ligação das células bacterianas à celulose, diminuindo a captação de aminoácidos e a produção de ATP pela bactéria (Galbraith e Miller, 1973). Isso leva a uma redução na digestão dos nutrientes e a um decréscimo no crescimento microbiano (Henderson *et al.*, 1973; Maczulak *et al.*, 1981). O crescimento de bactérias celulolíticas é mais reduzido do que as amilolíticas (Galbraith *et al.*, 1971; Maczulak *et al.*, 1981).

Em geral, observa-se que os lipídios diminuem a atividade fibrolítica no rúmen (Tesfa, 1992). O ácido graxo oleico foi potente inibidor também das archaea metanogênicas.

**Ionóforos:** Os ionóforos, principalmente a monensina, são aditivos empregados na alimentação de ruminantes que podem reduzir a produção de CH<sub>4</sub> em 25% e a ingestão de alimentos, em 4%, sem afetar o desempenho animal. A

monensina seleciona as bactérias gram-negativas, que são produtoras de propionato, em detrimento das gram-positivas, que são as principais produtoras de acetato e butirato, além de diminuir as *archaea* metanogênicas. No entanto, Johnson e Johnson (1995) citam que os microrganismos podem desenvolver mecanismos de resistência após 30 dias de sua administração. A inclusão de ionóforos na dieta tem aumentado a eficiência alimentar, enquanto os efeitos no ganho de peso e no consumo de alimento têm sido variáveis. Já em animais alimentados com dietas com

alta quantidade de concentrado, geralmente observa-se redução no consumo de alimento, aumento ou não alteração no ganho de peso e aumento na eficiência alimentar (consumo/ganho). Todavia, em animais em pastagem, a monensina não reduz

o consumo de alimento e o ganho de peso é aumentado, também como consequência de um aumento na eficiência alimentar. A redução ou modulação do consumo de alimento tem sido observada, principalmente com monensina (Goodrich *et al.*, 1984; Schelling, 1984; Oliveira *et al.*, 2005), enquanto outros ionóforos, como lasalocida, salinomina, laidlomocina propionato, geralmente não afetam ou podem aumentar

*Ionóforos, principalmente a monensina, são aditivos empregados na alimentação de ruminantes que podem reduzir a produção de CH<sub>4</sub>.*

o consumo de alimento (Spirees *et al.*, 1990). O consistente efeito negativo da monensina no consumo de alimento levou o NRC (1996) a recomendar que o consumo de matéria seca estimado seja diminuído em 4% quando se procede à suplementação com 27,5 a 33 ppm de monensina. Os mecanismos de redução do consumo de alimento quando se utiliza monensina não são bem entendidos. Em animais alimentados com dieta volumosa, o decréscimo no consumo pode ser parcialmente explicado pela diminuição na taxa de *turnover* de sólidos e líquidos no rúmen e consequente aumento do enchimento ruminal (Allen e Harrison, 1979), enquanto a reduzida motilidade ruminal induzida pela monensina pode ser a causa da diminuição do *turnover* ruminal (Deswysen *et al.*, 1987). Em média, recomenda-se para bovinos 33 ppm ou 200 mg/dia de monensina como dose ótima para a obtenção da melhor resposta no desempenho (Potter *et al.*, 1976; Wilkinson *et al.*, 1980; Goodrich *et al.*, 1984), na eficiência alimentar (Potter *et al.*, 1976), no padrão de fermentação ruminal (Potter *et al.*, 1976; Raun *et al.*, 1976), menor produção de metano (O'Kelly e Spiers, 1992) e menor incidência de timpanismo (May, 1990).

**9,10-antraquinona:** Composto de ocorrência natural em algumas plantas,

insetos e microrganismos, que por possuir efeito direto sobre as archaea metanogênicas, evidenciado pelo acúmulo de H<sub>2</sub>, é considerado um potencial redutor de CH<sub>4</sub>, mesmo quando presente em pequenas quantidades. Apresenta como vantagens não causar efeito negativo sobre a digestão ou saúde animal e aparentemente não ocorrer adaptação à substância.

**Estímulo da via acetonogênica:** É um processo em que o CO<sub>2</sub> é reduzido utilizando-se o H<sub>2</sub> presente no meio para produzir acetato, fonte de energia prontamente disponível para o ruminante. Além disso, consiste em um processo natural, que não deixa resíduos no leite e carne, sem causar resistência aos produtos pelos consumidores. Entretanto é dificultado pela metanogênese que, por possuir maior afinidade por elétrons, impede a competição.

**Extratos naturais de plantas:** A utilização de forragens com presença de compostos secundários constitui-se em possibilidades naturais para modificar a fermentação ruminal. Várias plantas apresentam esses compostos secundários que protegem do ataque dos fungos, bactérias, herbívoros e insetos. Saponinas e taninos presentes em algumas plantas tropicais podem atuar nesse processo. Quando fornecidos em altos níveis, esses compostos podem ter efeitos adver-

9,10-antraquinona  
é considerado um  
potencial redutor de  
CH<sub>4</sub>.

tos na população microbiana ruminal e na saúde animal, enquanto em baixos níveis apresentam potencial para melhorar a fermentação ruminal. Esses compostos podem ser fornecidos aos animais diretamente pelo alimento ou por extratos retirados industrialmente desses alimentos e adicionados à dieta dos animais. O tanino condensado, um composto de defesa produzido pelo metabolismo secundário das plantas, também vem sendo reportado pela literatura, apresentando resultados bastante promissores, indicando possível efeito deletério do tanino condensado sobre as archaea metanogênicas.

**Saponinas:** Saponinas são glicosídeos presentes naturalmente em plantas de *Medicago sativa* (alfafa), *Brachiaria decumbens*, entre outras forrageiras. Essas substâncias têm sido pesquisadas como inibidores do crescimento de protozoários ruminais, bem como moduladores da fermentação ruminal em bovinos. O uso das saponinas leva secundariamente à redução na produção de amônia, aumento na utilização do N da dieta, aumento na eficiência de síntese de proteína microbiana, mudança no perfil de ácidos graxos voláteis e diminuição na produção de metano. Em uma revisão realizada por Wina *et al.* (2005), os autores citam 28 trabalhos em que as saponinas provocaram redução no número de protozoários, 8

*Saponinas moduladores da fermentação ruminal em bovinos.*

trabalhos mostrando um decréscimo somente na atividade dos protozoários, 7 trabalhos não indicando efeito, e 3 trabalhos em que se observou efeito positivo das saponinas nos protozoários ruminais. Os autores chamam atenção para o fato de que a maioria dos trabalhos que demonstraram efeito antiprotozoário das saponinas foram realizados *in vitro*, devendo-se esses resultados serem avaliados com cuidado por nem sempre serem consistentes com os resultados *in vivo*.

**Aditivos microbianos:** O uso de aditivos contendo células vivas de microrganismos e/ou seus metabólitos tem aumentado em resposta à demanda pelo uso de substâncias “naturais” promotoras do crescimento que melhorem a eficiência da produção em ruminantes. A suplementação com microrganismos

benéficos espera prevenir o estabelecimento de microrganismos indesejáveis à microflora normal do trato diges-

tivo, procedimento denominado de “probióticos”. Vários casos de aumento no desempenho animal são documentados na literatura quando os ruminantes foram suplementados com aditivos microbianos. Os mecanismos propostos para o aumento no desempenho animal estão relacionados com a produção de compostos antimicrobianos (ácidos, bacteriocinas, antibióticos). Além disso, tem-se a competição com organismos

indesejáveis pela colonização do substrato, produção de nutrientes e outros fatores de crescimento estimuladores de microrganismos desejáveis no trato digestivo, produção ou estímulo de enzimas, metabolismo ou detoxificação de compostos indesejáveis, estímulo de resposta imune no animal hospedeiro, produção de nutrientes (aminoácidos, vitaminas) ou outros fatores estimuladores do crescimento do animal hospedeiro (Fuller, 1989). O exemplo de maior sucesso de manipulação da fermentação ruminal com a inoculação de bactérias é a inativação do 3-hidroxi-4(H)-piridona (DHP) pela bactéria *Synergistes jonesii*, isoladas de cabras do Havá foram adaptados à forrageira tropical *Leucaena leucocephala* (Jones e Megarrity, 1986). Essa forrageira contém um aminoácido não proteico chamado mimosina, que, quando consumida por animais não adaptados, o DHP liberado no rúmen causa efeitos gastrogênicos no animal. O organismo *S. jonesii* responsável pela detoxicação, quando inoculado e estabelecido no rúmen de animais australianos, conferiu proteção à toxicidade do DHP (Allison *et al.*, 1990). Extratos e culturas vivas dos fungos *Aspergillus oryzae* e, principalmente de *Saccharomyces cerevisiae*, também são explorados como agentes de manipulação ruminal. A utilização de *Aspergillus oryzae* na dieta tem gerado muito interesse, mas existem poucas informações sobre o modo de ação de *Aspergillus*. A

resposta à suplementação com *A. oryzae* parece ser maior no início da lactação do que no meio ou fim (Wallentine *et al.*, 1986; Kellems *et al.*, 1987; Denigan *et al.*, 1992). De acordo com Huber *et al.* (1985), uma maior produção de leite ocorreu quando a suplementação com fungos esteve associada a uma dieta com maior quantidade de concentrado na dieta.

**Levedura (*Saccharomyces cerevisiae*):** As leveduras são fungos unicelulares, especialmente do gênero *Saccharomyces*, tradicionalmente utilizados na fermentação do açúcar para consumo humano e ultimamente empregados como aditivos em suplementos alimentares para ruminantes. Na média, os dados publicados indicam que os aditivos microbianos apresentam efeito positivo sobre a produção de leite e o ganho de peso numa magnitude semelhante aos ionóforos (7% de aumento) (Wallace e Newbold, 1993). Alterações no consumo de alimento, na fermentação ruminal e na digestão são as prováveis responsáveis pelo aumento na produção. Os mecanismos pelos quais a levedura favorece o aumento da população de bactérias ainda não estão bem estabelecidos, podendo ser consequência de um aumento na remoção de O<sub>2</sub> do ambiente ruminal (Newbold *et al.*, 1996), pois se sabe que as bactérias celulolíticas são extremamente sensíveis ao oxigênio. Segundo afirmam Roger *et al.* (1990), a remoção do oxigênio adsorvido pelas

partículas de alimento que entram no rúmen pode contribuir para melhorar a colonização do substrato e aumentar a digestibilidade, uma vez que o oxigênio é prejudicial à ligação das bactérias ao substrato, sugerindo que a suplementação com levedura fornece fatores de crescimento solúveis, como ácidos orgânicos, vitamina B e aminoácidos, que são exigidos por certos grupos de microrganismos (Guerzoni e Succi, 1972). Extratos aquosos de *S. cerevisiae* estimularam, em culturas puras, o crescimento e a atividade das bactérias utilizadoras de lactato (Nisbet e Martin, 1991; Chaucheyras *et al.*, 1995a, Rossi *et al.*, 1995). A causa desse estímulo parece ser o elevado conteúdo de ácido dicarboxílico, principalmente ácido málico, nas leveduras (Nisbet e Martin, 1991), que serve de intermediário para a transformação de lactato em propionato.

Dessa forma, o pH mais elevado, ou mais estável, pode colaborar para o maior número de bactérias celulolíticas e aumento na digestão da fibra com a suplementação com culturas de fungos (Arambel e Klent, 1990; Mathieu *et al.*, 1996). Esse fato explica também o incremento observado na produção e proporção de propionato no rúmen (Miller-Webster *et al.*, 2002). Pelo efeito no pH ruminal, trabalhos têm sugerido que os efeitos das leveduras têm sido melhores em dietas com alto concentrado em que o pH é geralmente menor (Williams *et al.*, 1991; Mir e Mir, 1994). As leveduras

forneem vitaminas que favorecem o crescimento de *Neocallimastix frontalis* (Chaucheyras *et al.*, 1995b) e de protozoários no rúmen de novilhos alimentados com palha (Plata *et al.*, 1994), os quais contribuem para o aumento na digestão da fibra. Em adição, a suplementação com levedura pode estimular uma espécie de bactéria acetogênica “hidrogenotrófica” hábil em usar o H<sub>2</sub> para produção de acetato, em condições *in vitro* (Chaucheyras *et al.*, 1995c). Essas bactérias estão presentes em grande número no rúmen de bezerros recém-nascidos, antes do estabelecimento da metanogênese (Morvan *et al.*, 1994), e em bovinos alimentados com dietas com baixo volumoso (Leedle e Greening, 1988). Nas condições normais do rúmen, essas bactérias utilizam ineficientemente o H<sub>2</sub>.

Apesar da observação de que o impacto do uso de levedura ou monensina na produtividade e nos parâmetros de fermentação ruminal de vacas leiteiras foi pequeno, sugere-se que as leveduras possam ser uma melhor opção quando utilizadas em vacas com maior potencial de consumo de matéria seca e/ou inerente capacidade para produção de proteína do leite. Já a monensina pode ser mais apropriadamente usada em vacas com menor potencial de consumo e/ou inerente capacidade para produzir proteína do leite.

**$\beta$ -glucana na dieta:** Os efeitos benéficos da ingestão continuada de

$\beta$ -glucana podem diminuir os riscos de doenças crônicas em humanos e animais. Em estudo sobre a atividade biológica de polissacarídeos da parede celular de *S. cerevisiae* na alimentação de suínos, Kogan e Kocher (2007) ressaltaram a importância do efeito protetor da  $\beta$ -glucana ao organismo pelo estímulo ao sistema imune comum de mucosas, que são áreas permanentemente expostas a patógenos. A  $\beta$ -glucana tem se destacado entre os ingredientes utilizados para produção de alimentos funcionais (Tokunaka et al., 2002; Ramesh; Tharanathan, 2003). Fragmentos obtidos a partir dessa macromolécula, os oligossacarídeos, podem atuar como prebióticos estimulando seletivamente o crescimento de bactérias do trato intestinal, e servindo de fonte energética para a microflora benéfica (Przemyslaw; Piotr, 2003).

Desde a descoberta das propriedades benéficas da  $\beta$ -glucana para animais e humanos, inúmeros processos de isolamento e purificação desse polissacarídeo têm sido desenvolvidos (Freimund et al., 2003).

**Enzimas fibrolíticas:** O papel elementar dos volumosos é fornecer fibra, que é fonte de carboidratos usados como energia pelos microrganismos ruminais. Os ácidos graxos voláteis produzidos durante o processo de fermentação ruminal são a principal fonte de energia para o animal. A fibra também é essencial para estimular a mastigação,

a produção de saliva e a ruminação, além de ser fonte de nutrientes, como proteínas e minerais. Visando potencializar a utilização dos alimentos fibrosos pelos ruminantes, pesquisas têm sido realizadas com o intuito de aumentar a digestibilidade da MS. Uma das formas encontradas para esse fim é aumentar a quantidade de enzimas fibrolíticas presentes dentro do rúmen e do intestino, o que pode ser conseguido por meio da suplementação com enzimas fibrolíticas exógenas. A maioria das preparações comerciais enzimáticas é um produto da fermentação fúngica, predominantemente das espécies *Trichoderma* e *Aspergillus*, e bacteriana, principalmente *Bacillus*. A celulose e hemicelulose são os principais alvos das enzimas fibrolíticas celulasas e hemicelulasas, respectivamente. A aplicação de enzimas exógenas a rações concentradas para vacas leiteiras aumentou a eficiência alimentar em 6 a 12%, dependendo do nível de adição.

## 4. Considerações finais

No ecossistema anaeróbico do rúmen, os microrganismos fermentam carboidratos e proteína para obterem nutrientes necessários para seu crescimento. Muitos dos produtos finais dessa fermentação, como os ácidos graxos voláteis e a proteína microbiana, são as principais fontes de nutrientes (energia e nitrogênio) para o ruminante. Em contrapartida, outros produtos da fermentação



tação, como calor, metano e amônia, representam perdas de energia e proteína do alimento para o ambiente. Vários aditivos apresentam potencial para manipular o ambiente ruminal, diminuindo a excreção de compostos nitrogenados e a emissão de metano, que, além de representarem ineficiência do processo fermentativo do rúmen, se constituem em importantes fontes de poluição ambiental. Dentre os aditivos, com exceção dos ionóforos, já se conhece o mecanismo de ação, mas ainda existe a necessidade de mais estudos para estabelecer níveis adequados de suplementação, interações aditivo:microbiologia com os demais componentes da dieta, tipo de dieta, tipo de animal e, principalmente, ação em longo prazo. Porém, a maioria dos efeitos e mecanismos de ação foi estabelecida *in vitro*, e a confirmação dos resultados deve ser feita *in vivo*, determinando a resposta na produção animal e estabelecendo a relação custo:benefício na prática. Além disso, é necessário determinar os efeitos do uso desses aditivos na saúde humana, considerando, entre outros fatores, resistência a bactérias e efeito residual e transferência do princípio ativo através dos produtos de origem animal.

## 5. Referências Bibliográficas

1. ALLEN, J.D.; HARRISON, D.G. The effect of dietary addition of monensina upon digeston in the stomachs of sheep. *Proceeding of the Nutrition Society*, n.38, p.32A, 1979.
2. ALLISON, M.; HAMMOND, A.C.; JONES, R.J. Detection of rumen bacteria that degrade toxic dihydroxypridine compounds produced from mimosine. *Appl. Exp. Microbiol.*, v.56, p.590-594, 1990.
3. ARAMBEL, M. J., KENT, B. Effect of yeast culture on nutrient digestibility and milk yield response in early- to midlactation dairy cows. *J. Dairy Sci.*, v.73, p.1560- 1563, 1990.
4. CHAUCHEYRAS, F. et al. Effects of a strain of *Saccharomyces cerevisiae* (Levucell SC), a microbial additive for ruminants, on lactate metabolism *in vitro*. *Canad. J. Microbiol.*, v.42, p.927-933, 1995a.
5. CHAUCHEYRAS, F. et al. Effects of live *Saccharomyces cerevisiae* cells on zoospore germination, growth, and cellulolytic activity of the rumen anaerobic fungus. *Neocallimastix frontalis* MCH3. *Current Microbiology*, v.31, p.201-205, 1995b.
6. CHAUCHEYRAS, F. et al. *In vitro* H<sub>2</sub> utilization by a ruminal acetogenic bacterium cultivated alone or in association with an Archaea Methanogen is stimulated by a probiotic strain of *Saccharomyces cerevisiae*. *Appl. Environ. Microbiol.*, v.61, p.3466-3467, 1995c.
7. DENIGAN, M.E.; HUBER, J.T.; ALDHADRAMI, G.; AL-DEHNEH, A. Influence of feeding varying levels of Amaferm on performance of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.*, v. 75, p. 1616-1621, 1992.
8. DESWYSEN, A.G. Effect of monensin on voluntary intake, eating and ruminating behavior and rumen motility of heifers fed corn silage. *J. Anim. Sci.*, v. 64, p.827-834, 1987.
9. DEVENDRA, C.; LEWIS, D. Fat in the ruminant diet: a review. *Ind. J. Anim. Sci.*, v.44, p.917-938, 1974. DOREAU, M.; CHILLARD, Y. Digestion and metabolism of dietary fat in farm animals. *Br. J. Nutr.*, v. 78, p. S15-S30, 1997.
10. EDWARDS, J. E.; KINGSTON-SMITH, A. H.; JIMENEZ, H. R. et al. Dynamics of initial colonization of nonconserved perennial ryegrass by anaerobic fungi in the bovine rumen. *FEMS Microbiol Ecol.*, v. 66, p. 137-45, 2008.
11. FREIMUND, S.; SAUTER, M.; KÄPPELI, O.; DUTLER, H. A new non-degrading isolation process for 1,3- $\beta$ -D-glucan of high purity from baker's yeast *Saccharomyces cerevisiae*. *Carbohydrate Polymers*, Barking, v. 54, n. 2, p. 159-171, 2003.
12. FULLER, R. Probiotics in man and animals. *J. App. Microbiol.*, v.66, p.365- 378, 1989.
13. GALBRAITH, H.; MILLER, T.B.; PATON, A.M.;

- THOMPSON, J.K. Antibacterial activity of long-chain fatty acids and the reversal with calcium, magnesium, ergocalciferol and cholesterol. *J. App. Bacteriol.*, v.34, p.803-813, 1971.
14. GALBRAITH, H.; MILLER, T.B. Effect of long chain fatty acids on bacterial respiration and amino acid uptake. *J. App. Bacteriol.*, v.36, p.659-675, 1973.
  15. GOODRICH, R.D.; GARRETT, J.E.; GAST, D.R., et al. Influence of monensin on the performance of cattle. *J. Anim. Sci.*, v.58, p.1484-98, 1984.
  16. GUERZONI, E.; SUCCI, G. Identification of a peptide, stimulant for acetic bacteria, produced by a strain of *Saccharomyces cerevisiae*. *Ann. Microbiology*, v.22, p.167-173, 1972.
  - HENDERSON, C. The effects of fatty acids on pure cultures of rumen bacteria. *J. Agric. Sci.*, v.81, p.107-112, 1973.
  17. HOBSON, P. N.; STEWART, C. S. (Ed). The rumen microbial ecosystem. Reino Unido, 1997. 719p.
  18. HRISTOV, A.N.; IVAN, M.; NEILL, L.; MCALLISTER, T.A. et al. A survey of potential bioactive agents for reducing protozoal activity in vitro. *Anim. Feed Sci. Tech.*, v.105, p.163-184, 2003. HUBER, J. T.; HIGGINBOTHAM, G. E.; WARE, D. Influence of feeding vitaferm, containing an enzyme-producing culture from *Aspergillus oryzae*, on performance of lactating cows. *J. Dairy Sci.*, v. 68(Suppl. 1), 1985.
  19. JENKINS, T.C. Lipidic metabolism in the rumen. *J. Dairy Sci.* v.76, p. 3851-63, 1993.
  20. JOHNSON, K.A.; JOHNSON, D. E. Methane emissions from cattle. *J. Anim. Sci.*, v.73, p.2483-92, 1995.
  21. JONES, R. J.; MEGARRITY, R. G. Successful transfer of DHP-degrading bacteria from Hawaiian goats to Australian ruminants to overcome the toxicity of Leucaena. *Aust. Vet. J.*, v.63, p.259-262, 1986.
  22. KELLEMS, R. O.; JOHNSTON, N. P.; WALLENTINE, M. V; et al. Effect of feeding *Aspergillus oryzae* on performance of cows during early lactation. *J. Dairy Sci.*, v. 70 (Suppl. 1), 1987.
  23. KOGAN, G.; KOCHER, A. Role of yeast cell wall polysaccharides in pig nutrition and health protection. *Livestock Science*, v. 109, p. 161-165, 2007.
  24. LEEDLE, J.A.Z.; GREENING, R.C. Postprandial changes in methanogenic and acidogenic bacteria in the rumens of steers fed high- or low-forage diets once daily. *Appl. Environ. Microbiol.*, v.54, p.502-506, 1988.
  25. LONGO, C. *Avaliação in vitro de leguminosas taníferas tropicais para a mitigação de metano entérico*. 2007. 154f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Faculdade de Ciências, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
  26. MACZULAK, A.E.; DEHORITY, B.A.; PALMQUIST, D.L. Effect of long-chain fatty acids on growth of rumen bacteria. *Appl. Environ. Microbiol.*, v.42, p.856-862, 1981.
  27. MATHIEU, F.; JOUANY, J. P.; SENAUD, J. et al. The effect of *Saccharomyces cerevisiae* and *Aspergillus oryzae* on fermentations in the rumen of faunated and defaunated sheep; protozoal and probiotic interactions. *Reprod. Nutr. Dev.*, v. 36, p. 271-87, 1996.
  28. MAY, P.J. Controlling bloat with monensin in cattle fed diets containing lupin seed. *Proc. Aust. Soc. Anim. Prod.*, v.18, p.517, 1990.
  29. MILLER-WEBSTER, T; HOOVER, W.H.; HOLT, M.; NOCEK, J. E. Influence of yeast culture on ruminal microbial metabolism in continuous culture. *J. Dairy Sci.*, v.85, p.2009-2014, 2002. MIR, Z.; MIR, P. S. Effect of the addition of live yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) on growth and carcass quality of steers fed high-forage or high-grain diets and on feed digestibility and in situ degradability. *J. Anim. Sci.*, v. 72, p. 537-45, 1994.
  30. MORVAN, B.; DORE, J.; RIEU-LESME, F.; et al. Establishment of hydrogen-utilizing bacteria in the rumen of the newborn lamb. *FEMS Microbiol. Lett.*, v. 117, p.249-256, 1994.
  31. NAGARAJA, T.G.; NEWBOLD, C.J.; VAN NEVEL, C.J. et al. Manipulation of ruminal fermentation In: HOBSON, N.P. (Ed). Rumen microbial ecosystem. London: Blackie, 1997. p.523-631.
  32. NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. Nutrient requirements of dairy cattle. 7.rev.ed. Washinton, D.C. 2001. 381p.
  33. NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. Nutrient Requirements of Beef Cattle. National Academy Press, Washington, DC. 1996.
  34. NEWBOLD, C. J.; WALLACE, R. J.; MCINTOSH, F. M. Mode of action of the yeast *Saccharomyces cerevisiae* as a feed additive for ruminants. *Br. J. Nutr.*, v. 76, p. 249-61, 1996.
  35. NISBET, D.J.; MARTIN, S.A. Effect of a *Saccharomyces cerevisiae* culture on lactate utilization by the ruminal bacterium *Selenomonas ruminantium*. *J. Anim. Sci.*, v.69, p.4628-4633, 1991.
  36. O'KELLY, J. C.; SPIERS, W. G. Effect of monensin

- on methane and heat productions of steers fed lucerne hay either ad libitum or at the rate of 250 g/h. *Aust. J. Agric. Res.*, v.43, p. 1789-93, 1992.
37. PEDREIRA, M.S. *Estimativa da produção de metano de origem ruminal por bovinos tendo como base a utilização de alimentos volumosos: utilização da metodologia do gás traçador hexafluoreto de enxofre (SF6)*. 2004. 169f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.
  38. PLATA, P. F.; MENDONZA, G. D.; BARCENAGAMA, J. R.; GONZALEZ, S. Effect of a yeast culture (*Saccharomyces cerevisiae*) on neutral detergent fiber digestion in steers fed oat straw based diets. *Anim. Feed Sci.*, v. 49, p. 203-10, 1994.
  39. POTTER, E.L.; RAUN, A.P.; COOLEY, C.O.; et al. Effect of monensin on carcass characteristics, carcass composition and efficiency of converting feed to carcass. *J. Anim. Sci.*, v.43, p.678-683, 1976. PRIMAVESI, O.; FRIGHETTO, R.T.S.; PEDREIRA, M.S. et al. Metano entérico de bovinos leiteiros em condições tropicais brasileiras. *Pesq. agropec. bras.* v. 39, n.3, p. 277-83, 2004a.
  40. PRZEMYSŁAW, J. T.; PIOTR, T. Probiotics and Prebiotics. *Cereal Chemistry*, v. 80, n. 2, p. 113-117, 2003.
  41. RAMESH, H. P.; THARANATHAN, R. N. Carbohydrates – The renewable raw materials of high biotechnological value. *Crit. Rev. Biotechnol.*, v. 23, n. 2, p. 149-173, 2003.
  42. RAUN, A.P.; COOLEY, E.L.; POTTER, R.P. et al. Effect of monensin on feed efficiency of feedlot cattle. *J. Anim. Sci.*, v.43, p.670-677, 1976.
  43. ROGER, V. et al. Effects of physiochemical factors on the adhesion to cellulose Avicel of the rumen bacteria *Ruminococcus flavefaciens* and *Fibrobacter succinogenes*. *Appl. Environ. Microbiol.*, v.56, p.3081-3087, 1990.
  44. ROSSI, F. et al. Effect of a *Saccharomyces cerevisiae* culture on growth and lactate utilization by the ruminal bacterium *Megasphaera elsdenii*. *Ann. Zootech.*, v.44, p.403-409, 1995.
  45. SCHELLING, G.T. Monensin mode of action in the rumen. *J. Anim. Sci.*, v.58, p.1518-1527, 1984.
  46. SPIRES, H.R.; OLMSTED, A.; BERGER, L.L., et al. Efficacy of la idlomycin propionate for increasing rate and efficiency of gain by feedlot cattle. *J. Anim. Sci.*, v.68, p.3382-91, 1990.
  47. STEINFELD, H. et al. Livestock's long shadow: environmental issues and options. Food and Agriculture Organization of the United States-FAO, 2006. Disponível em: <<http://www.fao.org/ag/magazinr/0612sp1.htm>>. Acessado em: 15 ago. 2014.
  48. TESFA, A.T. Effects of rapeseed oil on rumen enzyme activity and in sacco degradation of grass silage. *Anim. Feed Sci. Tech.*, v.36, p.77-89, 1992.
  49. TOKUNAKA, K.; OHNO, N.; ADACHI, Y.; MIURA, N.N.; YADOMAE, T. Application of Candida solubilized cell wall  $\beta$ -glucan in antitumor immunotherapy against P815 mastocytoma in mice. *Interl Immunopharmacology*, v.2, n. 1, p.59-67, 2002.
  50. UNITED STATES ENVIROMENTAL PROTECTION AGENCY – USEPA. 2004. Evaluating Ruminant Livestock Efficiency Projects and Programs In: Peer Review
  51. Draf Washington, D.C., 200, 48p.
  52. WALLACE, R. J.; NEWBOLD, C. J. *Rumen fermentation and its manipulation: the development of yeast cultures as feed additives*. In: T. P. Lyons (Ed.) *Biotechnology in the Feed Industry*. p. 173. Alltech Technical Publications, Nicholasville, 1993.
  53. WALLENTINE, M. V.; JOHNSTON, N. P.; ANDRUS, D.; et al. The effect of feeding *Aspergillus oryzae* culture-vitamin mix on the performance of lactating dairy cows during periods of heat stress. *J. Dairy Sci.*, v. 69 (Suppl. 1), 1986.
  54. WILKINSON, J.I.D. et al. The use of monensin in European pasture cattle. *Anim. Prod.*, v.31, p.159-62, 1980.
  55. WILLIAMS, P.E.; TAIT, C.A.; INNES, G.M.; NEWBOLD, C.J. Effects of the inclusion of yeast culture (*Saccharomyces cerevisiae* plus growth medium) in the diet of dairy cows on milk yield and forage degradation and fermentation patterns in the rumen of steers. *J. Anim. Sci.* v. 69, p. 3016-26, 1991.
  56. WINA, E., MUETZEL, S., BECKER, K. The impact of saponins or saponin-containing plant materials on ruminant production - A review. *J. Agric. Food Chem.*, v. 53, p. 8093-8105, 2005.
  57. ZEN, S.; BARIONI, L. G.; BONATO, D. B. B. Pecuária de corte brasileira: impactos ambientais e emissões de gases de efeito estufa. Piracicaba São Paulo, 2008. Disponível em: <[http://cepea.esalq.usp.br/pdf/Cepea\\_Carbono\\_pecuaria\\_SumExec.pdf](http://cepea.esalq.usp.br/pdf/Cepea_Carbono_pecuaria_SumExec.pdf)> Acessado em: 15 ago. 2014.

# 4. Melhoria da eficiência ruminal: Inoculação de bactérias

Heloisa Carneiro<sup>1,\*</sup>, PhD - CRMV-MG ZO512

Marcio Roberto Silva<sup>1</sup>, Dr. - CRMV-MG 5558

Ernesto Vega Canizares<sup>2</sup>, Dr. Veterinário

Letícia Scafutto de Faria<sup>3</sup>

Gabrielle Dantas Sampedro<sup>3</sup>

\* Email para contato: [heloisa.carneiro@embrapa.br](mailto:heloisa.carneiro@embrapa.br)

<sup>1</sup> Pesquisadores da Embrapa Gado de Leite

<sup>2</sup> Pesquisador do Centro Nacional de Sanidad Agropecuaria, Mayabeque, CUBA

<sup>3</sup> Estagiária da Embrapa Gado de Leite

## 1. Introdução

Atualmente, a medição dos gases causadores do efeito estufa, como gás metano ( $\text{CH}_4$ ), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e óxido nítrico ( $\text{N}_2\text{O}$ ), é uma prática usual em várias regiões do mundo. O uso intensivo dos solos, a queima

de resíduos agrícolas, o cultivo de arroz em campos inundados e a criação de ruminantes em larga escala são exemplos de atividades agrícolas que contribuem para as emissões antrópicas de gases de efeito estufa. Os microrganismos existentes no estômago de ruminantes degradam os alimentos da dieta para

a sua sobrevivência e multiplicação. O  $\text{CH}_4$  é um dos coprodutos da fermentação da dieta no estômago desses animais. Estudos sobre

*O  $\text{CH}_4$  é um dos coprodutos da fermentação da dieta no estômago desses animais.*

0,74g  $\text{CH}_4$ /dia/kg de peso vivo (PV), e valores anuais de 51 a 140 kg de  $\text{CH}_4$ /cabeça, dependendo da raça, da categoria

o  $\text{CH}_4$  expelido da respiração de bovinos, ovinos e caprinos têm sido considerados de suma importância pelos governos dos países desenvolvidos, porque os ruminantes são responsáveis por aproximadamente 90% do  $\text{CH}_4$  emitido para a biosfera<sup>1,2</sup>. Consequentemente, os países que aderiram ao protocolo de Kyoto estão procurando estudar formas de manipular dietas de ruminantes para reduzir essa emissão de metano<sup>3,4,5</sup>. No Brasil, poucas informações locais existem sobre o potencial de emissão de metano dos nossos rebanhos, principalmente daqueles formados predominantemente por animais mestiços Holandês-Zebu, que são a base da maioria dos rebanhos leiteiros nacionais. Recentes esforços têm sido despendidos pela Embrapa Gado de Leite em parceria com Universidades, Institutos estaduais de pesquisa e com o apoio da EPA – Environmental Protection Agency, do governo americano, para medir a emissão de metano por bovinos em condições tropicais<sup>6</sup>, e juntos trabalham na busca por soluções para a mitigação do metano entérico, na tentativa de amenizar os problemas ambientais. Os valores médios gerados desses estudos mostram uma variação de 0,41 a

animal, da estação do ano e do tipo de alimentação. O processo fermentativo dos ruminantes, através da degradação da matéria orgânica, produz o  $\text{CH}_4$ , que é considerado responsável por grande parte da perda de energia durante o processo de digestão. Desenvolver dietas e estratégias para evitar tais perdas é o grande desafio nos sistemas produtivos de ruminantes, pois, além de significar maior eficiência produtiva, ainda reduz a contribuição negativa da pecuária para o aquecimento global.  $\text{CH}_4$  entérico, produzido em grandes quantidades por sistemas de produção de ruminantes, representa simultaneamente um atributo importante para estimar a quantidade de gases com efeito de estufa ou as perdas de energia pelo animal. Esse metano é produzido por um grupo especializado de microrganismos, as *Archaea metanogênicas*, que desenvolveram muitas interações com vários outros grupos de microrganismos no rúmen. A produção de hidrogênio e sua utilização tem um papel central nessas interações. Várias estratégias estão sendo desenvolvidas para controlar a produção de  $\text{CH}_4$  ruminal: primeiro, visam ao controle das *Archaea metanogênicas*; segundo, ao controle dos protozoários que são

produtores de hidrogênio que será utilizado pelas *Archaea metanogênicas* ou outros grupos microbianos envolvidos no metabolismo de hidrogênio. Tais estratégias incluem a composição da dieta, o uso de suplementos alimentares, aditivos e biotecnologias. Neste artigo serão apresentados os efeitos da adição de microrganismos e seus efeitos sobre a eficiência ruminal e redução da emissão de gás carbônico.

## 2. A pecuária e o problema ambiental

A criação de ruminantes torna-se cada vez mais crescente, e o Brasil, por deter o maior rebanho comercial bovino, vem sendo alvo de críticas relacionadas ao aquecimento global, uma vez que a má qualidade das pastagens, geralmente degradadas, influencia no potencial de produção desses animais e no aumento de produção desses gases de efeito estufa, como o gás metano ( $\text{CH}_4$ ) e o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). Esses gases são resultado do processo fermentativo dos ruminantes, sendo esse processo essencial para a degradação da matéria orgânica, e sabe-se que o  $\text{CH}_4$  é considerado responsável por grande parte da perda de energia durante o processo metabólico. Por isso, o

*Qualidade das pastagens, geralmente degradadas, influencia no potencial de produção desses animais e no aumento de produção desses gases de efeito estufa, como o gás metano ( $\text{CH}_4$ ) e o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ).*

desafio no sistema produtivo de ruminantes é desenvolver dietas ou estratégias de manejo que minimizem a produção relativa desses gases, possibilitando maior eficiência produtiva e redução da contribuição negativa da pecuária para o aquecimento global. O  $\text{CH}_4$  representa entre 30 e 50% do total dos gases de efeito estufa (GEE)<sup>7</sup> emitidos a partir de animais, principalmente de sistemas extensivos de produção, que representam a fonte mais importante, sendo responsáveis por cerca de 80% das emissões de metano do setor<sup>8</sup>. A produção de  $\text{CH}_4$  representa também uma perda de energia significativa para a produção animal que varia de 2 a 12% do consumo de energia bruta<sup>9</sup>. Assim, diminuir a produção de  $\text{CH}_4$  entérico de ruminantes, sem alterar a produção animal, é uma

estratégia desejável tanto para redução das emissões globais de gases de efeito estufa quanto para a melhoria da eficiência da conversão alimentar.

A FAO previu, em 2006, que a demanda mundial de carne e leite irá dobrar até 2050<sup>10</sup>.

Portanto, é necessário identificar tecnologias que ajudem a mitigar as emissões de  $\text{CH}_4$  sem diminuir o número de ruminantes ou sua produtividade. O  $\text{CH}_4$  produzido no rúmen pertence a um grupo especializado de

microrganismos que pertencem ao domínio Archaea<sup>11</sup>. No entanto, a microbiota ruminal é complexa e diversa, e muitos outros microrganismos podem interferir na produção desse CH<sub>4</sub>, quer seja através da promoção de um ambiente inadequado para o desenvolvimento das *Archaea metanogênicas* ou através da introdução de microrganismos que aumentam a eficiência ruminal e reduzem a emissão desses gases.

Este artigo mostra alguns resultados da introdução de microrganismos que aumentam a eficiência ruminal e reduzem a emissão de gás carbono.

### 3. O rúmen e sua microbiota

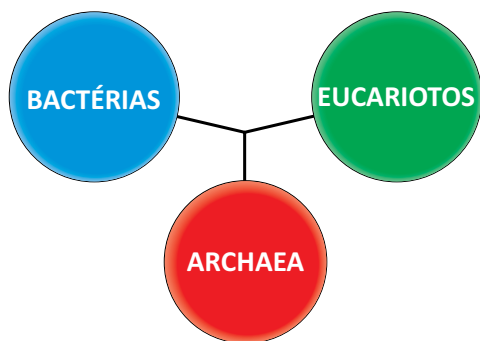


Figura 1. Esquema mostrando a divisão da população microbiana do rúmen nos três domínios da vida: Bactéria, Archaea e Eucariotos.

A população microbiana no rúmen possui um papel importante para os ruminantes utilizarem os substratos fi-

*A população microbiana no rúmen possui um papel importante para os ruminantes utilizarem os substratos fibrosos, entretanto a fermentação do rúmen tem um potencial deletério ao meio ambiente.*

brosos, entretanto a fermentação do rúmen tem um potencial deletério ao meio ambiente como resultado da quebra de nutrientes proteicos que leva à excreção de compostos através das fezes e urina. Devido à gran-

de emissão desses gases resultantes da quebra dos nutrientes proteicos, algumas pesquisas vêm sendo desenvolvidas na busca de manipular esse complexo ecossistema.

O rúmen compreende uma população muito densa e diversificada de micróbios que abrange os três domínios da vida: Bactéria, Archaea e Eucariotos, mostrados na Figura 1. Existe grande diversificação de bactérias, protozoários, fungos e archaea no rúmen adulto. As bactérias são predominantes, e contêm de 10<sup>9</sup>-10<sup>10</sup> células bacterianas/mL do conteúdo do rúmen ou 10<sup>9</sup>-10<sup>10</sup> células/mL, 10<sup>5</sup>-10<sup>6</sup>/mL de protozoário e pelo menos seis gêneros de fungos anaeróbicos, representando 10<sup>3</sup>-10<sup>4</sup> células/mL<sup>12</sup>. Os eucariotos incluem protozoários e fungos que podem representar uma parte importante da biomassa microbiana do rúmen. Esses microrganismos degradam e fermentam os alimentos ingeridos produzindo como produtos finais os ácidos graxos voláteis (AGV) e CO<sub>2</sub>. As *Archaea* são essencialmente metanogênicas e utilizam

principalmente  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2$  produzidos por outros micróbios para sintetizar o  $\text{CH}_4$ . Os microrganismos ruminais desenvolveram diversas interações para assegurar um funcionamento eficaz que permite a transformação microbiana dos componentes das plantas em produtos úteis para o animal hospedeiro (AGV), o que significa cerca de 70 a 80% do total das necessidades calóricas do animal hospedeiro por energia, devido à eficiente degradação dos carboidratos pelos microrganismos do rúmen, que utilizam o N para seu desenvolvimento. Os ruminantes têm a habilidade única de subsistir e produzir sem fonte de proteína dietética devido à síntese dos microrganismos do rúmen; geralmente contém entre 20 a 60% de sua matéria seca como proteína bruta que provém dos micróbios

ruminais que passam para o intestino e ali são aproveitados. Fontes externas de nutrientes, tais como carboidratos e proteínas, são parcialmente degradados no rúmen e resultam na produção de energia e nitrogênio para o animal, mostrado na Figura 2. A celulose e outros polissacarídeos, presentes na parede celular de vegetais, representam a maior fonte de energia para os animais herbívoros. A degradação da parede celular pelos ruminantes é consequência da simbiose entre muitos microrganismos anaeróbios presentes no rúmen, conforme ilustração.

As espécies bacterianas no rúmen foram inicialmente identificadas por isolamento de cultura, seguido por métodos moleculares que mais recentemente foram incluídos na abordagem metagenoma<sup>13,14</sup>

## Plantas: polissacarídios

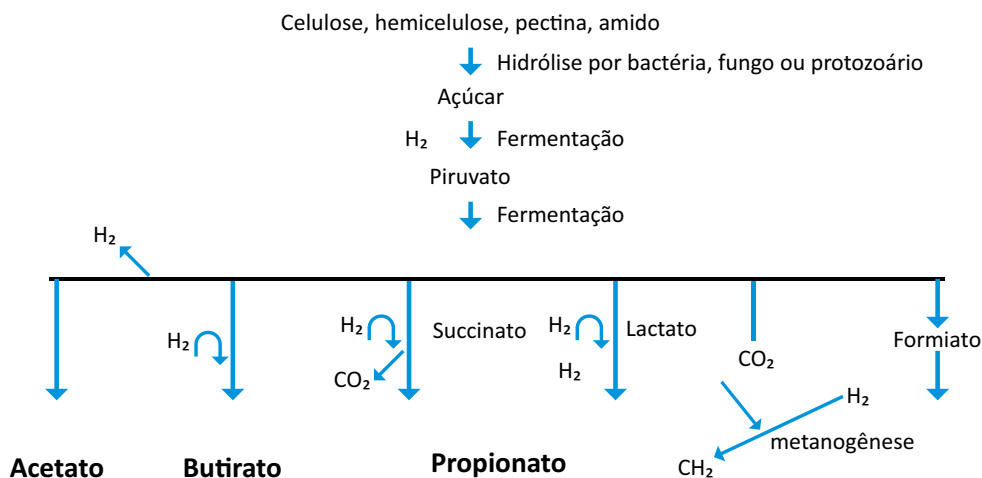


Figura 2. Degradação dos polissacarídeos no rúmen.



O número total de espécies é estimado atualmente em mais de 5.000, com base no 16S rDNA de diversidade, embora muitos deles não tenham sido cultivados ainda<sup>15</sup>. Protozoários e fungos foram estimados por meio da contagem de  $10^6$  e  $10^5$  células ou zoósporos/g do conteúdo do rúmen, respectivamente. A classificação morfológica identifica mais de 250 espécies de ciliados no rúmen<sup>16</sup>, e seis gêneros de fungos anaeróbios (Neocallimastigales ordem) tendo sido descrita, mas esse número foi recentemente estendido<sup>17</sup>. O número total de gêneros e espécies de eucariotos presentes no rúmen são ainda subestimados. Através dos métodos de cultura dependentes, estimou-se a população *Archaea metanogênica* entre  $10^6$  e  $10^9$  células/g de conteúdo ruminal<sup>18,19</sup>, porém os métodos moleculares têm frequentemente encontrado densidades metanogênicas de  $10^9$  ou superior<sup>20</sup>. Cerca de 0,3 a 3,3% de sequências recuperadas de rDNA (16S e 18S), a partir do rúmen, pertenciam ao domínio *Archaea*<sup>21,22</sup>, e a maioria era *Archaea metanogênicas*<sup>23</sup>, com baixa densidade e diversidade. As técnicas moleculares, tais como impressões digitais DGGE, mostraram um número limitado de bandas (<15) para cada animal, para rúmen de bovinos e ovinos<sup>24,25,26,27,28</sup>. Além disso, apenas sete espécies foram isoladas pela cultura.

*O número total de espécies é estimado atualmente em mais de 5.000.*

Uma revisão feita<sup>11</sup> a partir de 14 estudos identificou archaea através das sequências de rDNA, incluindo

ovinos e bovinos em diferentes estágios fisiológicos e recebendo diferentes dietas. Esses autores encontraram 92,3% dos metanogênicos em três subtipos principais: Methanobrevibacter (61,6% das sequências), Rumen Cluster C, também conhecida como linhagem C, Thermoplasmatales-associada (15,8% das sequências) e Methanomicrobium (14,9% das sequências). Mas essa regra está longe de ser sem exceções. Sequências de novas espécies ainda não cultivadas foram mais abundantes no rúmen de caprinos<sup>28</sup> ou ovelhas<sup>29</sup>. Em outros estudos com ovelhas, as metanogênicas predominantes pertenciam ao gênero Methanosphaera<sup>30</sup>. Vários fatores, tais como a espécie animal e a dieta, afetam a quantidade e a diversidade das archaea do rúmen, além de outros fatores, tais como o meio ambiente, estágio fisiológico e idade do animal.

#### **4. Como inicia o processo de colonização do rúmen de recém-nascidos?**

Ao nascer, o trato digestivo do recém-nascido é estéril, mas é rapidamente colonizado por uma microbiota complexa, e essa colonização segue várias sucessões de ecologia microbiana. A colonização do rúmen tem sido estuda-

da principalmente através de técnicas de culturas<sup>31</sup>, e as abordagens moleculares só recentemente foram aplicadas<sup>32,33</sup>. Por conseguinte, a diversidade taxonômica e funcional da microbiota ruminal dos pré-ruminantes, bem como os fatores que controlam a sua criação ecológica, não são bem conhecidos. Bactérias celulolíticas cultiváveis aparecem durante os primeiros dias de vida e atingem  $10^7$ - $10^8$  células/mL no sétimo dia<sup>31</sup>, estando, assim, presentes em níveis populacionais bem antes do desmame. *Archaea metanogênicas* também foram detectados por métodos de cultura durante os três primeiros dias de vida em cordeiros, e o seu estabelecimento, seguido das *B. celulolíticas*<sup>34</sup>. Trabalhos recentes mostraram que *Archaea* já estavam presentes nos cordeiros nas primeiras 15 horas de vida, mas não puderam ser cultivadas nas condições testadas<sup>32</sup>. Da mesma forma que os adultos, *M. ruminantium* foi a espécie dominante nas primeiras horas de vida<sup>19,32</sup>. Assim, os autores sugeriram que as metanogênicas adquiridas após o nascimento são mantidas durante todo o desenvolvimento do rúmen e da vida.

Bactérias hidrogenotróficas são capazes de utilizar o hidrogênio como um agente redutor, ou seja, homoacetogênicas e sulfato-redutoras são rapidamente colonizadas no rúmen do recém-nascido, sugerindo que a produção de

hidrogênio é eficaz nas primeiras horas de vida. No entanto, o seu número diminuiu enquanto aumentavam as *Archaea metanogênicas*, o que indica que eles não podem autocompetir por  $H_2$  com as metanogênicas  $H_2$  para limpeza<sup>34</sup>. Observou-se o aparecimento de fungos no rúmen durante a primeira semana de vida em cordeiros<sup>35</sup>. Os protozoários são os últimos a colonizar o rúmen, pois requerem de antemão que a microbiota bacteriana já esteja bem estabelecida<sup>36</sup>. Os protozoários *Entodinium* foram os primeiros a colonizar e permaneceram como gênero dominante na maioria dos animais<sup>36</sup>.

## 5. Como funcionam as interações entre as metanogênicas e outras populações microbianas no rúmen?

O metano, no rúmen, é formado principalmente pelas *Archaea hidrogenotróficas* que ainda reduzem o  $CO_2$ , utilizando  $H_2$  e, em certa medida, como formiato de doadores de elétrons.<sup>37</sup> Hungate demonstrou que cerca de 18% de metano no rúmen é formado a partir

de formiato, e a maior parte do restante é formado a partir de  $H_2$ . As outras duas vias metanogênicas (acetoclástica e metilotrófica) podem ocorrer no rúmen,

O metano, no rúmen, é formado principalmente pelas *Archaea* hidrogenotróficas que ainda reduzem o  $CO_2$ , utilizando  $H_2$ .

mas a sua contribuição para a produção de metano é menor<sup>38</sup>. Metanogênese é, portanto, dependente da disponibilidade de CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub> no rúmen. Uma interação positiva foi observada entre os microrganismos produtores de H<sub>2</sub> e *Archaea metanogênicas*.

## 6. Como funciona a transferência de hidrogênio entre as *Archaea metanogênicas*, protozoários e fungos?

As *Archaea metanogênicas* associadas com protozoários podem representar até 25% do metano produzido no rúmen<sup>39</sup>. Diversos mecanismos podem explicar a contribuição de protozoários e a metanogênese: eles são altos produtores de hidrogênio e servem como hospedeiros das *Archaea metanogênicas* e as protegem da toxicidade do oxigênio. O hidrogênio é um subproduto da fermentação, que é produzida em grandes quantidades pelos protozoários em uma equivalente organela especializada para a mitocôndria dos eucariotas aeróbios:

o hidrogenossoma. Esse hidrogênio é utilizado pelos metanógenos endo e ecto simbiótico<sup>40,41</sup>. Essa interação é um exemplo típico de transferência de hidrogênio inter-espécies, que favorece

tanto os metanogênicos como os protozoários<sup>42</sup>. A remoção de hidrogênio permite a fermentação de matéria orgânica, principalmente, para formar o acetato e o CO<sub>2</sub> à custa da produção de butirato e lactato, resultando na produção de ATP mais eficiente pelo protozoário hospedeiro. Segundo Tokura *et al.* (1997)<sup>43</sup>, os protozoários também produzem uma quantidade considerável de formiato que também pode ser utilizado, em parte, como um substrato para a produção de metano. Os fungos ruminais também possuem hidrogenossomas específicos para a produção de H<sub>2</sub>, e co-cultura de fungos e os metanogenos levaram a uma mudança nos produtos finais da fermentação, bem como no aumento na degradação da celulose pelos fungos. Isso indica uma transferência eficaz benéfica de H<sub>2</sub> para ambos os microrganismos<sup>44</sup>.

Os protozoários do rúmen não são essenciais para o animal, pois animais defaunados (remoção de protozoários do rúmen) usam uma grande variedade de técnicas químicas e físicas, e têm sido amplamente utilizados para estudar o papel de protozoários ciliados ruminais e suas funções, e em particular o seu envolvimento na produção de metano. Uma diminuição média de 10% de metano é observada após defaunação, mas esse valor pode variar dependendo da

*As Archaea metanogênicas associadas com protozoários podem representar até 25% do metano produzido no rúmen.*

dieta<sup>45</sup>. Segundo Eugène *et al.* (2004)<sup>46</sup>, algumas alterações na estrutura da comunidade metanogênica e na orientação da fermentação no rúmen estão associadas à eliminação dos protozoários e frequentemente com um aumento na proporção de propionato à custa de acetato e butirato. No estudo de Takenaka e Itabashi (1995)<sup>47</sup>, o número de b. metanogênicos diminuíram 10 vezes após a defaunação. No entanto, esse resultado não foi confirmado em outros estudos. O número de genes archaea por ml de conteúdo de rúmen foi dobrado após a defaunação em ovinos<sup>48</sup>, sem qualquer alteração na quantidade de metano produzido. Consistentemente, um aumento no número de cópias do gene *mcrA* foi observado em ovelhas defaunadas durante 3 meses<sup>49</sup> (Popova *et al.*, 2011b) ou 2 anos<sup>50</sup>. Demonstrou-se que a menor disponibilidade de H<sub>2</sub> no rúmen dos carneiros defaunados afeta a metanogênese, reduzindo a expressão do gene funcional *mcrA*<sup>49</sup>. Na ausência de protozoários, a produção de metano diminuiu e a população metanogênica foi 2,5 vezes menos ativa do que na presença de protozoários. Por conseguinte, afigura-se que a remoção de protozoários do rúmen diminui a metanogênese, afetando a atividade metanogênica e a diversidade em vez de o seu número. Assim, a redução do

número de protozoários constitui uma estratégia válida para mitigar metanogênese do rúmen.

## 7. Como funcionam as interações entre *Archaea metanogênicas* e as bactérias celulolíticas?

Os microrganismos que degradam as fibras, e as bactérias celulolíticas em particular, têm um papel importante no ecossistema ruminal. Eles são essenciais para o animal, que não pode degradar as paredes celulares dos polissacarídeos das plantas.

A maioria das bactérias celulolíticas produz hidrogênio como um produto final de fermentação, que sob condições fisiológicas normais, poderá ser rapidamente utilizado pelas *Archaea metanogênicas*. Essa transferência de hidrogênio inter-espécies (bactérias celulolíticas e *Archaea metanogênica*) foi demonstrada como sendo fundamental para o funcionamento dos ecossistemas anaeróbicos do rúmen<sup>50</sup>. Se essa transferência for afetada, a acumulação de hidrogênio no rúmen

inibe a reoxidação de coenzimas envolvidas em reações redoxes no interior das células bacterianas, que, em última análise, acaba deprimindo os processos de fermentação. Essa é a razão pela

*Os microrganismos que degradam as fibras, e as bactérias celulolíticas em particular, têm um papel importante no ecossistema ruminal. Eles são essenciais para o animal.*

qual a metanogênese está intimamente ligada à degradação da fibra vegetal no rúmen.

## 8. Como funciona as interações entre as comunidades fibrolíticas e as *Archaea* metanogênicas?

O efeito da composição da comunidade fibrolítica na produção de metano também tem sido investigado. Incubações *in vitro* de conteúdo de rúmen de cordeiros isolados com uma flora controlada compararam tanto os produtores de hidrogênio (Ruminococci e fungos) ou não produtores de hidrogênio (Fibrobacter) e microrganismos fibrolíticos metanogênicos. Os resultados demonstraram que o metano era produzido em quantidades mais elevadas do inóculo contendo a microbiota que produzia hidrogênio através da celulose<sup>51</sup>. Esses resultados sugerem que a composição da comunidade fibrolítica (produtores ou não produtores de hidrogênio) pode ter um impacto sobre a acumulação de hidrogênio e a produção de metano subsequente. Assim, a promoção dos microrganismos fibrolíticos produtores de hidrogênio,

como *F succinogenes*, pode ser uma alternativa para diminuir as emissões de metano no rúmen, sem prejudicar a degradação da fibra.

## 9. Estratégias de mitigação de Metano entérico

São muitas as tentativas feitas para diminuir a produção de metano entérico no rúmen, uma série de estratégias tem sido utilizada, incluindo alterações na composição da dieta, utilização de produtos químicos, aditivos e extratos naturais de plantas. Infelizmente a maioria dessas estratégias ainda não é amplamente utilizada devido à baixa eficácia e seletividade, além da toxicidade

dos produtos químicos normalmente utilizados para com o animal, ou o desenvolvimento de resistência microbiana aos anti-metanogênicos compostos ou mesmo valor econômico muito elevado. Várias revisões de literatura recentes estão à disposição do leitor, como

*Uma dessas estratégias de mitigação envolve a introdução de microrganismos para aumentar a eficiência ruminal e reduzir a emissão de gases de efeito estufa, como o metano e o gás carbônico.*

exemplo: Martin *et al.* (2010), Attwood *et al.* (2011), Buddle *et al.* (2011), Wright e Klieve (2011), Goel e Makkar (2012) e Wang *et al.* (2012)<sup>52, 53,54,55,56,57</sup>.

Uma dessas estratégias de mitigação envolve a introdução de microrganismos para aumentar a eficiência ruminal

e reduzir a emissão de gases de efeito estufa, como o metano e o gás carbônico. Essas interações de microrganismos serão mais detalhadas no tópico a seguir.

## 10. A introdução de probióticos e prebióticos na tentativa de aumentar a eficiência ruminal e reduzir a emissão de gás carbônico e metano

**Probióticos** - O termo probiótico surgiu na década de 1960 para descrever substâncias produzidas por organismo que estimulava outro indivíduo. Newbold, em 1996<sup>58</sup>, cita Parker (1974) como o primeiro a utilizar o termo para descrever aditivos alimentares que apresentavam efeito indireto e benefício ao hospedeiro, por atuar na microbiota do trato digestivo.

Em ruminantes, a fermentação microbiana que ocorre no rúmen desempenha um papel muito importante na

capacidade desses animais em utilizar substratos fibrosos. No entanto, a fermentação ruminal também causa consequências ambientais deletérias, como a emissão de gases de efeito estufa e degradação de proteína dietética, levando à excreção excessiva de N em fezes e urina. Uma série de aditivos está sendo investigada, e a tendência é concentrar-se em extratos de plantas e probióticos como manipuladores de rúmen. Um levantamento da literatura nas últimas duas décadas mostrou que as doses administradas variaram de 0,5 a 80g/cabeça/dia de leveduras *Saccharomyces cerevisiae* mostradas na Tabela 1.

As respostas ao uso de leveduras têm sido bastante variáveis e pequenas, dependendo do processamento, da cepa, da dose suplementada e da dieta. Os resultados encontrados demonstraram diminuição não significativa de 3 a 5 % ou nenhum efeito na produção de metano como uma percentagem da matéria seca ingerida. No entanto, com

**Tabela 1. Doses versus fonte da suplementação com *Saccharomyces cerevisiae***

Doses (g/MS)	Material utilizado	Fontes
10	YC; <i>S. Cerevisiae</i>	Willians <i>et al.</i> , 1991 <sup>59</sup>
2,5	Levedura <i>S. cerevisiar</i>	Fiems <i>et al.</i> , 1993 <sup>60</sup>
0, 6 e 60	<i>S. cerevisiae</i>	Fiems <i>et al.</i> , 1995 <sup>61</sup>
2, 4, 6, 8 e 10	<i>S. cerevisiae</i>	Dolezal <i>et al.</i> , 2005 <sup>62</sup>
20 e 80	<i>S. cerevisiae</i>	Dobieki <i>et al.</i> , 2007 <sup>63</sup>
0, 10, 20 e 30	<i>S. cerevisiae</i>	Lomas e Pupiales, 2007 <sup>64</sup>
10	Levedura cepa KA 500	Menezes, 2008 <sup>65</sup>
0,10 e 30	<i>S. cerevisiae</i>	Ribeiro, 2012 <sup>66</sup>
0,5 e 50	<i>S. cerevisiae</i>	Pinloche <i>et al.</i> , 2013 <sup>67</sup>

o aumento do conhecimento dos mecanismos de ação das leveduras, poderá ser possível prever em que condições dietéticas estas serão mais benéficas. Num estudo compararam os efeitos da suplementação com duas estirpes de *Saccharomyces cerevisiae* em vacas leiteiras e, embora as estirpes influenciassem os perfis de AGV do rúmen de uma maneira diferente, nenhuma alteração significativa na produção de metano foi observada<sup>75</sup>. Alguns estudos mostraram que *Saccharomyces cerevisiae* pode estimular a produção de propionato à custa de acetato<sup>51,69</sup>, ao passo que sugeriram que essa levedura possa estimular o crescimento de bactérias acetogênicas, consumindo H<sub>2</sub> no rúmen<sup>51</sup>. Esses autores mostraram previamente que o consumo de H<sub>2</sub> por uma bactéria acetogênica em co-cultura com uma estirpe metanogênica foi estimulado por *Saccharomyces cerevisiae*, mas o consumo de H<sub>2</sub> e a produção de metano pelas metanogênicas não foram afetadas<sup>70</sup>.

Culturas de leveduras com base em *Saccharomyces cerevisiae* são amplamente utilizadas em dietas de ruminantes. Os produtos disponíveis variam amplamente, como a cepa de *S. cerevisiae* utilizada e o número e viabilidade de células de levedura presentes. Observaram que nem todas as cepas de levedura são capazes de estimular a digestão no rúmen<sup>39,71</sup>.

Certas cepas de *S. cerevisiae* podem ajudar a prevenir a diminuição do pH

ruminal associado alimentando uma dieta à base de cereais e esta parece estar associada com uma diminuição na concentração de lactato ruminal<sup>72</sup>.

O pH ruminal é um dos mais importantes determinantes da função ruminal, particularmente para as bactérias (rúmen), fator que deixam de crescer em pH 6,0 e abaixo<sup>73</sup>. O pH do rúmen cai como resultado da fermentação reforçada devido ao aumento de concentrado na dieta. Essa queda inibe a degradação dos componentes fibrosos da dieta e é a causa, em parte pelo menos, dos efeitos associativos negativos entre forragens e concentrados. Tem sido sugerido que os aditivos com base em *S. cerevisiae* poderiam ajudar a atenuar essa queda pós alimentação do pH ruminal<sup>59</sup>, resultando em uma fermentação ruminal mais estável<sup>74</sup>.

Enfim, culturas vivas de *S. cerevisiae* podem ajudar a evitar uma queda no pH pós alimentação em animais alimentados com dietas de concentrado, reduzindo assim a provável acidose clínica e subclínica. Isso parece ser devido à capacidade de a levedura seletivamente estimular o crescimento de lactato utilizando *Megaspharera* e *Selenomonas* no rúmen.

O uso de técnicas moleculares modernas tem mostrado que leveduras não só estimulam a atividade bacteriana no rúmen, mas também alteram a composição da população bacteriana. Estamos agora usando as técnicas descritas para

investigar o uso de leveduras, probióticos e extratos de plantas para manipular a população microbiana no rúmen, a fim de melhorar a produtividade e reduzir a emissão de gases de efeito estufa.

**Prebióticos** - O yacon (*Smallanthus sonchifolius*), uma planta que produz raízes tuberosas semelhantes à batata-doce, está sendo estudada por sua capacidade prebiótica<sup>75,76,77</sup>. A planta produz raízes tuberosas que armazenam FOS, em vez de amido, como energia. A raiz contém 0,3-3,7% proteína e 70-80% de matéria seca em sacarídeos, principalmente FOS com grau de polimerização de 09:57 (trissacarídeos-decasacarídes)<sup>78</sup>. Ao contrário de outras fontes comerciais de FOS, yacon é tão rica nesse ingrediente prebiótico que uma dose eficaz pode ser assegurada por consumir uma quantidade moderada de raiz. Outra característica importante é que o rendimento de yacon no campo é superior a outras fontes convencionais<sup>75</sup>. Folhas e raízes dessa cultura possuem uma gama de compostos bioativos e alguns com propriedades antioxidantes, antiglicêmica, antibacteriana e antifúngica.

Recentemente, o yacon tem sido testado como mitigador de metano. Porém a sua administração não tem contribuído para o decréscimo da produção de CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub>, comum forma de perda de energia por degradação ruminal resultante da quebra de polissacarídeos no rúmen. O controle comparado com o tratamento contendo até 70% do

yacon em dietas com capim elefante e capim braquiária aumentou a produção de CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub>, não funcionando como mitigador de metano. Esse foi um estudo preliminar *in vitro* que abordou o potencial de prebiótico na mitigação de CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub>, e uma avaliação mais aprofundada *in vivo* está sendo recomendada<sup>79</sup>. Recentemente a mesma equipe, trabalhando em ensaios *in vitro* com a adição de *Lactobacillus acidophilus* em doses crescentes na MS, não encontraram decréscimo na produção de CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub>.

**Vacinas:** Várias vacinas foram formuladas até esta data<sup>80</sup>, mas os resultados não se mostraram eficientes na redução das emissões de metano<sup>54</sup>. As razões foram, provavelmente, que as vacinas não atingiram o alvo de todas as espécies metanogênicas presentes no rúmen. Pode-se especular que uma melhor proporção da população levaria a uma maior redução das emissões de metano. No entanto, a diversidade de *A. metanogenicas* está sujeita a alterações com o regime alimentar do animal hospedeiro, que faz com que a formulação de uma vacina seja eficaz. Por outro lado, a adaptação de flora metanogênica é de se esperar, e deve ser considerando a fim de prever a eficácia da vacina ao longo do tempo<sup>53</sup>.

## 11. Considerações finais

Há uma urgência em encontrar maneiras para reduzir as emissões de meta-



no por ruminantes, sem alterar a produção animal. Várias estratégias têm sido testadas, inclusive utilizando estratégias nutricionais e vários aditivos. Essas estratégias têm o alvo na inibição das *Archaea metanogênicas*, na redução de protozoários (produtores de H<sub>2</sub>), na estimulação de outras vias que consomem H<sub>2</sub> disponível no ambiente ruminal ou na utilização de várias destas simultaneamente.

*Essas estratégias têm o alvo na inibição das Archaea metanogênicas, na redução de protozoários (produtores de H<sub>2</sub>), na estimulação de outras vias que consomem H<sub>2</sub> disponível no ambiente ruminal*

O desenvolvimento de novas abordagens exige esforços consideráveis para aumentar o conhecimento sobre o ecossistema ruminal e principalmente das *Archaea metanogênicas*, microrganismos que produzem metano.

Assim, a fim de diminuir a atividade metanogênica, mais pesquisas são necessárias para caracterizar e entender plenamente essa comunidade microbiana. A introdução recente das tecnologias de sequenciamento permitirão a caracterização de microbiomas ruminais e conduzirão à melhor identificação das *Archaea* e outros microrganismos.

Estudos de reconstrução do genoma de *Archaea* a partir de dados do metagenoma, bem como o sequenciamento do genoma de estirpes recentemente isoladas, seriam também particularmente úteis para uma melhor compreensão do metabolismo, fisiologia e função

desses microrganismos no ecossistema ruminal.

Independentemente das estratégias utilizadas para mitigação de gases de efeito estufa, elas deverão levar em conta aspectos ambientais, sociais, econômicos e de saúde pública.

## Referências bibliográfica

1. CLARK, H, ULYATT, M. J (2002): A Recalculation of Enteric Methane Emissions from New Zealand Ruminants 1990-2000 with Updated Emission Predictions for 2010. A report prepared for the Ministry of Agriculture and Forestry. June 2001.
2. MARTIN, C.; MORGAVI, D.P.; DOREAU, M. Methane mitigation in ruminants: from microbe to the farm scale. *Animal*, v. 4, p. 351–365, 2010.
3. GOVERDE, M.; BAZIN, A.; SHYKOFF, J.A. et al. Influence of leaf chemistry of *Lotus corniculatus* (Fabaceae) on larval development of *Polymmatius icarus* (Lepidoptera, Lycaenidae): effects of elevated CO<sub>2</sub> and plant genotype. *Functional Ecology*, v. 13, p. 801-10, 1999.
4. O' HARA, P.; FRENEY, J.; ULYATT, M. J. Abatement of agricultural non-carbon dioxide greenhouse gas emissions. A study of research requirements. A report prepared for the Ministry of Agriculture and Forestry. Ministry of Agriculture and Forestry, Wellington., 2003, 171p.
5. KEBREAB, E.; STRATHE, A.; FADEL, J. et al. Impact of dietary manipulation on nutrient flows and greenhouse gas emissions in cattle. *Rev. Bras. Zootec.*, v. 39, p. 458-64, 2010.
6. LIMA, M. A.; PRIMAVESI, O; DEMARCHI, J. J.A. A. Inventory improvements for methane emissions from ruminants in Brasil. Jaguariúna, SP: Embrapa, June 2005. 17p. (EPA Grant n.X-82926201-0. Final Report).

7. STEINFELD, H.; GERBER, P.; WASSENAAR, T. et al. Livestock's long shadow environmental issues and options, FAO, 2006 p. 390.
8. GILL, M.; SMITH, P.; WILKINSON, J.M. Mitigating climate change: the role of domestic livestock. *Animal*, v. 4, p. 323-333, 2010.
9. JOHNSON, K.A.; JOHNSON, D.E. Methane emissions from cattle. *J. Anim. Sci.* v. 73, p. 2483-2492, 1995.
10. FAO, 2006. World agriculture: towards 2030/2050. Interim Report, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Global Perspective Studies Unit, Rome.
11. JANSSEN, P.H.; KIRS, M. Structure of the archaeal community of the rumen. *Appl. Environ. Microbiol.*, v. 74, p. 3619-3625, 2008.
12. HOBSON, P. N.; STEWART, C. S. (Ed). The rumen microbial ecosystem. Reino Unido, 1997. 719p.
13. BRULC, J.M.; ANTONOPOULOS, D.A.; MILLER, M.E., et al. Gene-centric metagenomics of the fiber-adherent bovine rumen microbiome reveals forage specific glycoside hydrolases. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, v. 106, p. 1948-1953, 2009.
14. HESS, M.; SCZYRBA, A.; EGAN, R., et al. Metagenomic discovery of biomass-degrading genes and genomes from cow rumen. *Science*, v. 331, p. 463-467, 2011.
15. KIM, M.; MORRISON, M.; YU, Z. Status of the phylogenetic diversity census of ruminal microbiomes. *FEMS Microbiology Ecology*, v. 76, p. 49-63, 2011.
16. WILLIAMS, A.G.; COLEMAN, G.S., 1992. The rumen protozoa. Springer-Verlag New York Inc., New York.
17. KITTELMANN, S.; NAYLOR, G.E.; KOOLAARD, J.P., et al. A proposed taxonomy of anaerobic fungi (class neocallimastigomyces) suitable for large-scale sequence-based community structure analysis. *PLOS One* 7, e36866, 2012.
18. MORVAN, B.; BONNEMOY, F.; FONTY, G., et al. Quantitative determination of H<sub>2</sub>-utilizing acetogenic and sulfate-reducing bacteria and methanogenic archaea from digestive tract of different mammals. *Current Microbiology*, v. 32, p. 129-133, 1996.
19. SKILLMAN, L.C.; EVANS, P.N.; NAYLOR, G.E., et al. 16S ribosomal DNA-directed PCR primers for ruminal methanogens and identification of methanogens colonising young lambs. *Anaerobe*, v. 10, p. 277-285, 2004.
20. DENMAN, S.E.; TOMKINS, N.W.; MCSWEENEY, C.S. Quantitation and diversity analysis of ruminal methanogenic populations in response to the antimethanogenic compound bromochloromethane. *FEMS Microbiol. Ecol.*, v. 62, p. 313-322, 2007.
21. LIN, C.; RASKIN, L.; STAHL, D.A. Microbial community structure in gastrointestinal tracts of domestic animals: comparative analyses using rRNA-targeted oligonucleotide probes. *FEMS Microbiol. Ecol.*, v. 22, p. 281-294, 1997.
22. SHARP, R.; ZIEMER, C.J.; STERN, M.D., et al. Taxon-specific associations between protozoal and methanogen populations in the rumen and a model rumen system. *FEMS Microbiol. Ecol.*, v. 26, p. 71-78, 1998.
23. YANAGITA, K.; KAMAGATA, Y.; KAWAHARASAKI, M., et al. Phylogenetic analysis of methanogens in sheep rumen ecosystem and detection of *Methanomicrobium mobile* by fluorescence in situ hybridization. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, v. 64, p. 1737-1742, 2000.
24. WRIGHT, A.-D.; MA, X.; OBISPO, N. Methanobrevibacter Phylotypes are the Dominant Methanogens in Sheep from Venezuela. *Microbiol. Ecol.*, v. 56, p. 390-394, 2008.
25. POPOVA, M.; MARTIN, C.; EUGÈNE, M., et al. Effect of fibre- and starch-rich finishing diets on methanogenic Archaea diversity and activity in the rumen of feedlot bulls. *Animal Feed Science and Technology* v. 166-167, p. 113-121, 2011a.
26. ZHOU, M.; HERNANDEZ-SANABRIA, E.; GUAN, L.L. Characterization of variation in rumen methanogenic communities under different dietary and host feed efficiency conditions, as determined by PCR-denaturing gradient gel electrophoresis analysis. *Appl. Environ.*

- Microbiol.*, v. 76, p. 3776-3788, 2010.
27. DESNOYERS, M.; GIGER-REVERDIN, S.; BERTIN, G et al. Meta-analysis of the influence of *Saccharomyces cerevisiae* supplementation on ruminal parameters and milk production of ruminants. *J. Dairy Sci.*, v. 92, p. 1620-1632, 2009.
  28. CHENG, Y.F.; MAO, S.Y.; LIU, J.X., et al. Molecular diversity analysis of rumen methanogenic *Archaea* from goat in eastern China by DGGE methods using different primer pairs. *Letters in Applied Microbiology*, v. 48, p. 585-592, 2009.
  29. WRIGHT, A.-D.G.; TOOVEY, A.F.; PIMM, C.L. Molecular identification of methanogenic archaea from sheep in Queensland, Australia reveal more uncultured novel archaea. *Anaerobe*, v. 12, p. 134-139, 2006.
  30. WRIGHT, A.-D.G.; WILLIAMS, A.J.; WINDER, B., et al. Molecular Diversity of Rumen Methanogens from Sheep in Western Australia. *Appl. Environ. Microbiol.*, v. 70, p. 1263-1270, 2004.
  31. FONTY, G.; GOUET, P. Establishment of microbial populations in the rumen. Utilization of an animal model to study the role of the different cellulolytic micro-organisms *in vivo*. In *The Roles of Protozoa and Fungi in Ruminant Digestion*, Armidale NSW, 1989. p.39-49.
  32. GAGEN, E.J.; MOSONI, P.; DENMAN, S.E., et al. Methanogen colonization does not significantly alter acetogen diversity in lambs isolated 17 h after birth and raised aseptically. *Microbial Ecology*, 2012.
  33. LI, R.W.; CONNOR, E.E.; LI, C., et al. Characterization of the rumen microbiota of pre-ruminant calves using metagenomic tools. *Environmental Microbiology*, v. 14, p. 129-139, 2012.
  34. MORVAN, B.; DORE, J.; RIEU-LESME, F., et al. Establishment of hydrogen-utilizing bacteria in the rumen of the newborn lamb. *FEMS Microbiology Letters*, v. 117, p. 249-256, 1994.
  35. FONTY, G.; GOUET, P.; JOUANY, J.P., et al. Establishment of the microflora and anaerobic fungi in the rumen of lambs. *Journal of General Microbiology*, v. 133, p. 1835-1843, 1987.
  36. FONTY, G.; SENAUD, J.; JOUANY, J.P., et al. Establishment of ciliate protozoa in the rumen of conventional and conventionalized lambs: influence of diet and management conditions. *Canadian Journal of Microbiology*, v. 34, p. 235-241, 1988.
  37. HUNGATE, R.E.; SMITH, W.; BAUCHOP, T., et al. Formate as an intermediate in the bovine rumen fermentation. *Journal of Bacteriology*, v. 102, p. 389-397, 1970.
  38. OPPERMANN, R.A.; NELSON, W.O.; BROWN, R.E. In vivo studies of methanogenesis in the bovine rumen: dissimilation of acetate. *Journal of General Microbiology*, v. 25, p. 103-111, 1961.
  39. NEWBOLD, C.J.; LASSALAS, B.; JOUANY, J.P. The importance of methanogens associated with ciliate protozoa in ruminal methane production *in vitro*. *Letters in Applied Microbiology*, v. 21, p. 230-234, 1995.
  40. STUMM, C.K.; GIJZEN, H.J.; VOGELS, G.D. Association of methanogenic bacteria with ovine rumen ciliates. *British Journal of Nutrition*, v. 47, p. 95-99, 1982.
  41. FINLAY, B.J.; ESTEBAN, G.; CLARKE, K.J., et al. Some rumen ciliates have endosymbiotic methanogens. *FEMS Microbiology Letters*, v. 117, p. 157-162, 1994.
  42. USHIDA, K.; NEWBOLD, C.J.; JOUANY, J.P. Interspecies hydrogen transfer between the rumen ciliate *Polyplastron multivesiculatum* and *Methanosarcina barkeri*. *Journal of General and Applied Microbiology*, v. 43, p. 129-131, 1997.
  43. TOKURA, M.; USHIDA, K.; MIYAZAKI, K., et al. Methanogens associated with rumen ciliates. *FEMS Microbiology Ecology*, v. 22, p. 137-143, 1997.
  44. BAUCHOP, T.; MOUNTFORT, D.O. Cellulose fermentation by a rumen anaerobic fungus in both the absence and the presence of rumen-methanogens. *Appl. Environ. Microbiol.*, v. 42, p. 1103-1110, 1981.
  45. MORGAVI, D.P.; FORANO, E.; MARTIN, C., et al. Microbial ecosystem and methanogenesis in ruminants. *Animal*, v. 4, p. 1024-1036, 2010.

46. EUGÈNE, M.; ARCHIMÈDE, H.; SAUVANT, D. Quantitative meta-analysis on the effects of defaunation of the rumen on growth, intake and digestion in ruminants. *Livestock Production Science*, v. 85, p. 81-97, 2004.
47. TAKENAKA, A.; ITABASHI, H. Changes in the population of some functional groups of rumen bacteria including methanogenic bacteria by changing the rumen ciliates in calves. *Journal of General and Applied Microbiology*, v. 41, p. 377-387, 1995.
48. MACHMÜLLER, A.; SOLIVA, C.R.; KREUZER, M. Effect of coconut oil and defaunation treatment on methanogenesis in sheep. *Reproduction Nutrition Development*, v. 43, p. 41-55, 2003.
49. POPOVA, M.; MORGAVI, D.P.; DOREAU, M., et al. Production de méthane et interactions microbiennes dans le rumen. *INRA Productions Animales*, v. 24, p. 447-460, 2011b.
50. WOLIN, M.; MILLER, T.; STEWART, C., 1997. Microbe-microbe interactions, In: Hobson, P., Stewart, C. (Eds.), *The Rumen Microbial Ecosystem*, Chapman & Hall, London, pp. 467-491.
51. CHAUCHEYRAS-DURAND, F.; MASSEGLIA, S.; FONTY, G., et al. Influence of the composition of the cellulolytic flora on the development of hydrogenotrophic microorganisms, hydrogen utilization, and methane production in the rumens of gnotobiotically reared lambs. *Appl. Environ. Microbiol.*, v.76, p. 7931-7937, 2010.
52. MARTIN, C.; MORGAVI, D.P.; DOREAU, M. Methane mitigation in ruminants: from microbe to the farm scale. *Animal*, v. 4, p. 351-365, 2010.
53. ATTWOOD, G.T.; ALTERMANN, E.; KELLY, W.J., et al. Exploring rumen methanogen genomes to identify targets for methane mitigation strategies. *Animal Feed Science and Technology*, 166-167, 65-75, 2011.
54. BUDDLE, B.M.; DENIS, M.; ATTWOOD, G.T., et al. Strategies to reduce methane emissions from farmed ruminants grazing on pasture. *The Veterinary Journal*, v. 188, p. 11-17, 2011.
55. WRIGHT, A.-D.G.; KLIEVE, A.V. Does the complexity of the rumen microbial ecology preclude methane mitigation? *Animal Feed Science and Technology* 166-167, 248-253, 2011.
56. GOEL, G.; MAKKAR, H.P. Methane mitigation from ruminants using tannins and saponins. *Tropical animal health and production*, v. 44, p. 729-739, 2012.
57. WANG, J.K.; YE, J.A.; LIU, J.X. Effects of tea saponins on rumen microbiota, rumen fermentation, methane production and growth performance a review. *Tropical animal health and production*, v. 44, p. 697-706, 2012.
58. PARKER, R.B. Probiotics, the other half of the antibiotic story. *Anim. Nutr. Health* v.29, p.4-8, 1974.
59. WILLIAMS, P.E.; TAIT, C.A.; INNES, G.M., et al. Effects of the inclusion of yeast culture (*Saccharomyces cerevisiae* plus growth medium) in the diet of dairy cows on milk yield and forage degradation and fermentation patterns in the rumen of steers. *J Anim Sci*, v. 69, p. 3016-3026, 1991.
60. FIEMS, L.O; COTTYN, B.G; DUSSERT, L; VANACKE, J.M. Effect of a viable yeast culture on digestibility and rumen fermentation in sheep fed different types of diets. *Reprod Nutr Dev*, v.33, p.43-49, 1993
61. FIEMS, L.O; COTTYN, B.G; BOUCQUÉ, CH.V. Effect of yeast supplementation on health, performance and rumen fermentation in beef bulls. *Archiv für Tierernährung*, v.47, n.3, p.295-300, 1995.
62. DOLEZAL, P.; DOLEZAL, J.; TRINACTY, J. The effect of *Saccharomyces cerevisiae* on ruminal fermentation in dairy cows. *Czech J. Anim. Sci*, v.50, p.503-510, 2005.
63. DOBICKI, A.; PREŚ, J.; ZACHWIEJA, A. et al. Influence of yeast preparations on chosen biochemical blood parameters and the composition of cow milk. *Medycyna weterynaryjna*, v.63, p.951-954, 2007
64. LOMAS, E.; PUPIALES, M.L. Efectos de cuatro niveles de *Saccharomyces cerevisiae* como aditivo alimenticio en vacas del tropico para mejorar la produccion lechera en la Provincia de Imbabura, Canton Cotacachi, sector San Jose de Magdalena. Informe Final de Tesis, Previo a la obtención del Título de Ingeniería Agropecuaria, 2007. 177p.

65. MENEZES, B. Suplementação de vacas leiteiras com *Saccharomyces cerevisiae* cepa KA500. Dissertação (Mestrado em Ciências Veterinárias)– Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2008. 52p.
66. Ribeiro, D. Resposta digestiva de bovinos a dosis de levadura autolisada. Dissertação Universidade Federal de Lavras, Programa de Pós-Graduação em Ciências Veterinárias, 2012. 58p.
67. PINLOCHE, E.; MC, E.; MARDEN, J.P; et al. The effect of a probiotic Yeast on the bacterial diversity and population structure in the Rumen of cattle. *Plos one*, v.8, p.1-10, 2013.
68. CHUNG, Y.H.; WALKER, N.D.; MCGINN, S.M., et al. Differing effects of 2 active dried yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) strains on ruminal acidosis and methane production in nonlactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, v. 94, p. 2431-2439, 2011.
69. NEWBOLD, C.J.; RODE, L.M. Dietary additives to control methanogenesis in the rumen. *International Congress Series 1293*, p. 138-147, 2006.
70. CHAUCHEYRAS, F.; FONTY, G.; BERTIN, G., et al. In vitro H<sub>2</sub> utilization by a ruminal acetogenic bacterium<sup>2</sup> cultivated alone or in association with an archaea methanogen is stimulated by a probiotic strain of *Saccharomyces cerevisiae*. *Applied and Environmental Microbiology*, v. 61, p. 3466-3467, 1995.
71. NEWBOLD, C.J.; FRUMHOLTZ, P.P.; WALLACE, R.J. Influence of *Aspergillus oryzae* fermentation extract on rumen fermentation and blood constituents in sheep given diets of grass hay and barley. *Journal of Agricultural Science*, v.119, p.423-427, 1992.
72. NEWBOLD, C.J. et al. Different strains of *Saccharomyces cerevisiae* differ in their effects on ruminal bacterial numbers in vitro and in sheep. *Journal of Animal Science*, v.73, p.1811-1818, 1995.
73. STEWART, C.S Factors Affecting the Cellulolytic Activity of Rumen Contents. *Appl Environ Microbiol.*, vol.33, n.3 p.497–502,1977.
74. HARRISON, G.A. et al. Influence of addition of yeast culture supplement to diets of lactating dairy cows on ruminal fermentation and microbial populations. *Journal of Dairy Science.*, v.71, p.2967-2975, 1988.
75. OJANSIVUJ, FERREIRA,C.L.L.F., Salminem J Seppo YACON, A NEW SOURCE OF PREBIOTIC OLIGOSACCHARIDES WITH A HISTORY OF SAFE USE. *Trends in Food Science & Technology*, v.22, p.40-46, 2010.
76. RODRIGUES, K.L , CAPUTO, L.R.G, CARVALHO, J.C.T. et al. Antimicrobial and healing activity of kefir and kefir extract. *International Journal of Antimicrobial Agents.*, v.25, n. 5, p.404-408, 2005.
77. RODRIGUES F.C , CASTRO A.S, RODRIGUES, OLIVEIRA V.C et al. Yacon flour and bifidobacterium longum nodulate bone health in rats. *Journal of Medicinal Food.*, v.xx, p.1-7, 2012.
78. GOTO, S.; BONO, H.; OGATA, H. et al. Organizing and computing metabolic pathway data in terms of binary relations. eds Altman R.B., DunkerK., Hunter L., Klein T.E. (World Scientific, Singapore), p. 175–186, 1996.
79. CARNEIRO, H, LIMA N.R, ARAÚJO R.C.C. et al. O uso de yacon como mitigador de metano. Anais de Congresso, Brasília, Sociedade Brasileira de Zootecnia : A produção animal no mundo em transformação, ppl1-3. 2012.
80. WILLIAMS, Y.J.; POPOVSKI, S.; REA, S.M., et al. A vaccine against rumen methanogens can alter the composition of archaeal populations. *Applied and Environmental Microbiology*, v. 75, p. 1860-1866, 2009.



# 5. Manejo Ambiental de Unidades de Produção Animal

Julio Cesar Pascale Palhares<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> Embrapa Pecuária Sudeste, Rod. Washington Luiz km 234 13560-970 São Carlos-SP-Brazil

\* Email para contato: [Julio.palhares@embrapa.br](mailto:Julio.palhares@embrapa.br)

## 1. Introdução

Segundo o Dicionário Michaelis, a palavra manejo tem na área zootécnica a seguinte definição: *ato de submeter os animais a cuidados de alimentação, trato e higiene, a fim de torná-los mansos, limpos e sadios*. Considerando que a execução do manejo ambiental de um sistema de produção e da propriedade rural também contribui para manter os animais em condi-

ções de bem-estar e sanidade, entende-se que esse tipo de manejo deve fazer parte das atividades cotidianas de uma unidade de produção animal.

Com isso, pergunta-se: O manejo ambiental faz parte do cotidiano da produção? Respondo, considerando a maior parte das unidades produtivas brasileiras, que esse manejo NÃO está inserido no cotidiano produtivo. As justifi-

*Manejo: ato de submeter os animais a cuidados de alimentação, trato e higiene, a fim de torná-los mansos, limpos e sadios.*

cativas para essa resposta são:

- Não há uma definição clara do conceito de manejo ambiental da unidade de produção animal, o que o compõe e como deve ser feito;
- Há um entendimento simplista, de todos os atores das cadeias produtivas e dos consumidores, de que manejo ambiental significa cumprir a legislação ambiental, e cumprir a legislação ambiental é entendido como possuir as licenças ambientais exigidas para a atividade. Manejar o ambiente é muito mais amplo do que cumprir a lei, e esse manejo deve ser uma ação cotidiana, e não um ato administrativo;
- Os atores das cadeias produtivas animais possuem reduzido conhecimento ambiental. Atualmente, essa condição é a maior barreira a um salto de qualidade ambiental das unidades produtivas. Produtores devem ser assistidos em técnicas e práticas ambientais, profissionais agropecuários devem também ter na sua formação as ciências ambientais, e profissionais de

empresas e agroindústrias devem ter capacitação ambiental constante a fim de identificar as questões ambientais inerentes à sua atividade;

- Manejar o ambiente é entendido como algo de custo elevado, que demanda tempo e mão de obra, e que não gera recursos financeiros.

Na Figura 1, propõe-se uma definição para o conceito de manejo ambiental de unidades de produção animal e os manejos que o compõem. Ressalta-se que a definição proposta tem um caráter mais focado, baseando-se nos resíduos gerados e nos principais recursos naturais utilizados pelas atividades, não considerando outros aspectos que também devem estar presentes no manejo ambiental, como o manejo da biodiversidade, da paisagem, entre outros. A consideração dos outros aspectos propiciará a gestão ambiental, conceito mais amplo que o de manejo ambiental.

Observa-se na Figura 1 que todos os manejos devem estar baseados nas diretrizes e padrões ambientais vigentes nas

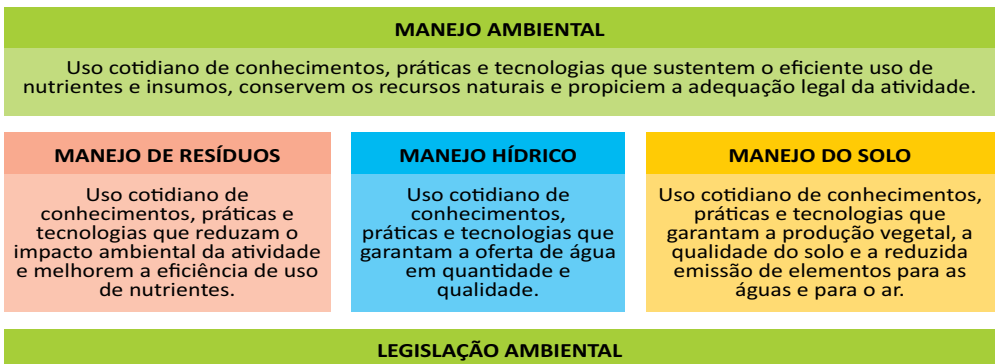


Figura 1. Definições dos manejos necessários à unidade de produção animal.

legislações federal, estadual e municipal, mas não se limitando ao cumprimento dessas diretrizes e padrões. As ciências zootécnicas e ambientais têm elevado dinamismo, o qual muitas vezes não é acompanhado pelas legislações, mas os manejos devem considerar isso.

Realizar o manejo ambiental não é um processo simples, devido aos inúmeros fatores que isso envolve, sendo eles: a atividade em si; o meio ambiente e seus recursos; as interações da atividade com outras atividades produtivas; as legislações; os parâmetros econômicos e os valores sociais e culturais. Portanto, o manejo deve ser muito bem realizado, caso contrário, as ações poderão ter efeitos adversos ao ambiente e à atividade e sua imagem.

Não há experiência no mundo que tenha mudado uma realidade ambiental adversa sem que a educação fizesse parte dessa mudança. O último censo agropecuário realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística mostra que o produtor rural tem um baixo nível de educação formal, sendo que muitos deles, principalmente nas regiões Norte e Nordeste, não têm o ensino primário completo. Na outra ponta, os produtores com ensino superior não chegam a

*Não há experiência no mundo que tenha mudado uma realidade ambiental adversa sem que a educação fizesse parte dessa mudança.*

*Os profissionais agropecuários ainda são formados com um reduzido conhecimento em ciências ambientais.*

ser 5% em nenhuma região. Essa realidade demonstra a importância do sistema de extensão rural para o país. A grande maioria dos produtores não tem condição financeira para contratar

um profissional a fim de auxiliá-lo no manejo ambiental da produção, portanto precisam ser assistidos pelos sistemas públicos e pelos órgãos de classe.

Contudo, o nível educacional não é um problema só da classe dos produtores. Os profissionais agropecuários ainda são formados com um reduzido conhecimento em ciências ambientais. Estes apresentam dificuldades básicas, como: elaborar um projeto de adequação ambiental, estipular indicadores de desempenho ambiental para o acompa-

nhamento da atividade, dimensionar um sistema de aproveitamento ou tratamento de resíduos, relacionar outras ciências, como a nutrição animal, com o manejo

ambiental, realizar uma análise do custo ambiental da atividade, etc. Não há como promover um salto de qualidade ambiental sem um profissional que dê suporte para isso. A formação universitária de nossos profissionais deve ser revista para que eles sejam capazes de praticar o manejo ambiental.

Essa revisão também passa por ques-



tões ideológicas. Antigamente, bastava produzir proteína animal. Atualmente, a sociedade quer proteína animal com segurança dos alimentos, bem-estar dos animais, qualidade ambiental, respeito ao trabalhador, etc. Portanto, a formação filosófica do profissional deve acompanhar os atuais e futuros “quereres” da sociedade.

O manejo ambiental dará retorno econômico, pois, quando praticado, reduz o custo de produção devido ao menor consumo de água, ração, energia, fertilizantes e combustíveis; melhora a eficiência no uso de insumos, principalmente nitrogênio e fósforo; otimiza a mão de obra; aumenta a vida útil de máquinas e equipamentos; melhora o nível de instrução e a capacidade técnica de produtores e colaboradores; disponibiliza mais área agricultável por unidade produtiva.

## 2. Preservação ou Conservação?

A Constituição Brasileira, promulgada em 1988, em seu Artigo 225, diz: *“todos têm direito a um meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações”*.

No cotidiano, podemos notar que as palavras “preservação” e “conservação” são utilizadas como se fossem sinônimas.

A busca pelo significado dessas palavras, em qualquer dicionário da língua portuguesa, nos faz concluir que realmente as palavras são sinônimas. Segundo o Novo Dicionário Aurélio, preservação significa: “livrar de algum mal [...] conservar [...]”. E conservação significa: “ato ou efeito de conservar(-se)”. Mas o significado destas, considerando a teoria das ciências ambientais, nos conduz a outra conclusão.

De acordo com o Dicionário Brasileiro de Ciências Ambientais, o significado de preservação é: “ação de proteger, contra a modificação e qualquer forma de dano ou modificação, um ecossistema, área geográfica, etc.”. O significado de conservação é: “utilização racional de um recurso natural qualquer, garantindo-se, entretanto, sua renovação ou sua autossustentação, difere da preservação por permitir o uso e o manejo da área”.

A partir dessas definições, fica a pergunta. Os profissionais agropecuários devem preservar ou conservar o meio ambiente? A resposta correta é: Devem fazer ambos.

Serão preservacionistas quando mantiverem a área de mata ciliar nas propriedades. Isso possibilita a preservação da água dos rios em quantidade e qualidade. E serão conservacionistas quando utilizarem a água de poços para a dessedentação dos animais de forma racional, ou seja, respeitando o tempo que a natureza leva para repor

essa água, assim a água estará disponível no longo prazo, e os animais não sofrerão com a escassez desse recurso, bem como os seres humanos.

Conclui-se que os profissionais devem desempenhar dois papéis fundamentais, o da preservação e o da conservação. O primeiro possibilitará a perpetuação das atividades produtivas no longo prazo, bem como da convivência pacífica com a sociedade. O segundo contribuirá para que, no futuro, não discutamos mais os problemas ambientais, pois os recursos naturais utilizados, hoje, estarão sendo conservados, ou seja, se manterão em quantidade e com padrão de qualidade que os tornarão disponíveis para essas produções e para toda a sociedade.

Alguns podem pensar que as discussões teóricas, relacionadas aos problemas ambientais das produções animais, são perda de tempo, que temos problemas graves a serem resolvidos e não podemos perder mais tempo com discussões que não conduzem a soluções imediatas. Mas devemos lembrar que muitos dos problemas ambientais de hoje são fruto da falta de consideração de conceitos, sendo que muitos deles são anteriores aos problemas.

### **3. Desafios ao manejo ambiental**

Tem-se verificado que alguns fatores de dimensão social e cultural estão atuando como limitantes à atuação pro-

fissional que visa à qualidade ambiental das unidades de produção animal. Esses limitantes estão presentes em todas as regiões brasileiras. Além disso, esses limitantes desgastam a imagem dos bons profissionais, bem como dificultam a mudança dos modelos produtivos.

Traduzimos esses limitantes na proposição de “teorias” que impedem e/ou dificultam a atuação profissional. A proposição dessas teorias foi feita considerando-se: o pensamento de nossa sociedade e a realidade produtiva brasileira, os históricos e as realidades de países tradicionais na produção de proteína animal e as experiências científica e prática. As teorias são comuns a todas as cadeias de produção e se farão presentes em maior intensidade nas regiões e cadeias com maior histórico de conflitos ambientais.

Se os limitantes não forem considerados, mais difícil será o manejo ambiental, significando maior demanda de tempo e recursos financeiros para as soluções e maiores os conflitos entre os atores das cadeias produtivas e destes com a sociedade.

As teorias propostas são:

#### *Teoria da “Caça às Bruxas”*

O conflito faz parte de qualquer processo ambiental. Saber lidar com ele é fundamental para se ter sucesso e propor as melhores soluções. Por isso,

em sua atuação, o profissional pecuário deverá ser o mediador desses conflitos, pois ele tem os conhecimentos necessários para esclarecer os impactos positivos e negativos das potenciais soluções. Há conflitos desnecessários, que além de consumirem tempo, fomentam o pessimismo, o descrédito e o radicalismo. Esses conflitos também consomem recursos financeiros.

É muito comum ouvirmos dos atores das cadeias agropecuárias questionamentos a respeito de quanto poluente é a produção animal frente a outras atividades humanas. Um fato muito recorrente é a comparação da poluição causada pelos dejetos de animais e aquela causada pelos esgotos urbanos. O momento, considerando a situação ambiental do Brasil e do planeta, não é de buscar culpados. Enquanto se perde tempo com isso, caçando-se bruxas, os problemas se agravam. Tanto os esgotos urbanos como os pecuários são problemas que devem ser atacados com vigor, pois impactam a saúde ambiental e a qualidade de vida de todos. Os problemas originados por qualquer atividade urbana ou rural serão mais facilmente equacionados se ocorrer uma união para resolvê-los.

*O profissional pecuário deverá ser o mediador conflitos, tem os conhecimentos necessários para esclarecer os impactos positivos e negativos das potenciais soluções.*

### *Teoria dos Paraquedistas*

Qualquer atividade pecuária apresenta um passivo ambiental considerável, principalmente na eficiência de uso de nutrientes, o que se traduz em elevado risco de poluição das águas, solo e ar.

Paralelo a essa realidade, meio ambiente é um assunto que tem dado reconhecimento e proporcionado ganhos financeiros a qualquer profissional que deseja atuar na área. Ultimamente, veem-se muitos profissionais atestarem que têm a solução para os problemas ambientais da pecuária, quando na verdade não têm conhecimento dos conceitos básicos em manejo ambiental e da produção de animais.

Esses paraquedistas estão presentes em todos os segmentos sociais, na política, no empresariado, nas organizações não governamentais, nas universidades e institutos de pesquisa e na mídia. E com certeza os que mais sofrem com a existência deles são os produtores rurais, pois muitas vezes estes não dispõem de nenhum conhecimento em manejo ambiental, estando suscetíveis a aceitar qualquer intervenção ou tecnologia que lhes é oferecida a fim de resolver seus problemas no menor tempo possível e com o menor custo.

Um bom profissional ambiental sabe que manejar meio ambiente demanda dois conceitos básicos, visão sistêmica e intervenções adaptadas à realidade produtiva, econômica, social, cultural e ambiental do produtor e da produção. De outra

*Um bom profissional ambiental sabe que manejar meio ambiente demanda dois conceitos básicos, visão sistêmica e intervenções adaptadas à realidade produtiva.*

forma, nenhuma proposição terá validade no tempo, e o produtor e os atores das cadeias produtivas estarão sempre em busca de “milagres” ambientais.

A melhor forma de evitar esses paraquedistas é tendo um conhecimento básico em manejo ambiental, o que irá conferir capacidade de discernimento ao cliente, ou demandar profissionais que sejam tradicionais no mercado e tenham formação ambiental e pecuária.

#### *Teoria Meio Ambiente/Futebol/Política*

O brasileiro tem como característica cultural achar que domina vários assuntos. Nos anos recentes, o meio ambiente começou a sofrer desse mal. É salutar que meio ambiente seja discutido por todos, tornando-se uma conversa cotidiana, mas há uma linha tênue entre discutir meio ambiente e a discussão sem fundamentação, o que, na grande parte das vezes, levará a posições e decisões infundadas, tomadas com base em opiniões pessoais e interesses particulares.

As questões ambientais são muito sérias, pois determinam a existên-

cia de vida no planeta. Portanto, passado o momento de meio ambiente ser um modismo de alguns, estamos no momento de conhecer, fazer, avaliar e fazer de novo. Para isso precisamos nos educar ambientalmente. Caso isso

não aconteça no curto e médio prazo, o Brasil corre o risco de perder em quantidade e qualidade sua riqueza ambiental e conseqüentemente sua capacidade e competitividade como grande produtor de produtos agropecuários.

Muitos têm a solução para os problemas amazônicos sem nunca terem ido à Amazônia, somente conhecendo-a pela mídia. Muitos exigem a produção de proteína animal em bases ambientalmente mais equilibradas, mas não têm o mínimo conhecimento de como essa proteína é produzida e quais as características econômicas, sociais, ambientais e culturais dessa produção.

Se o conhecimento simplificado das questões ambientais fosse suficiente para resolver os problemas, europeus e norte-americanos, que têm maiores históricos de produção animal, não teriam preocupações ambientais com a atividade, mas, mesmo dispondo de conhecimento apurado, histórico de pesquisa e internalização dos problemas na sociedade, os desafios ambientais nesses continentes ainda são enormes.

Se não tivermos conhecimento do que estamos fazendo e quais as estreitas relações da produção pecuária com a preservação e conservação do meio ambiente, iremos ter a mesma situação internacional: regulações extremamente restritivas, cotas produtivas relacionadas ao manejo dos resíduos, altas taxas sobre excesso de nutrientes por área, obrigatoriedade de reduzir os rebanhos em regiões de histórico produtivo e conflitos sociais intensos.

### *Teoria do “Afrouramento Legal”*

A história mostra que existem duas formas para se alterar a realidade ambiental de uma cadeia produtiva ou sociedade: a existência de legislação ambiental tecnicamente embasada e suportada por uma estrutura legal e fiscalizatória robustas e a mudança da relação do ser humano com o meio ambiente – essa mudança ocorrerá via educação. A legislação promove a preservação e conservação ambiental no curto e médio prazo, enquanto a educação promoverá no longo prazo.

Defender o afrouxamento das leis ambientais com a justificativa de que estão impedindo o desenvolvimento da pecuária é desconhecer as realidades produtivas e ambientais da atividade, as experiências e realida-

des de outros países, e demonstrar uma total falta de comprometimento com o futuro da sociedade e pecuária brasileira. Certamente, os que defendem isso não utilizam a palavra afrouxamento, usam termos mais simpáticos, como modernização e atualização. Justificam que querem a alteração com base nas informações geradas pela ciência, mas faltam-lhes argumentos científicos para basear suas proposições.

Há que se fazer uma ressalva. Muitos padrões, limites, etc., determinados pelas leis ambientais brasileiras, não encontram sustentação científica. Esse fato não deve ser utilizado como oportunidade para questionarmos as leis a fim de afrouxá-las, mas sim como necessidade de se fazer estudos cientificamente válidos para se chegar às mudanças necessárias. Se todos concordam que as leis

*Defender o afrouxamento das leis ambientais com a justificativa de que estão impedindo o desenvolvimento da pecuária é desconhecer as nuances produtivas e ambientais da atividade.*

ambientais devem basear-se no conhecimento e que o conhecimento é dinâmico, portanto em constante evolução, as leis devem acompanhar essa evolução. Assim o processo de avaliação das leis ambientais deve ser comum à sociedade.

No Brasil, algumas legislações já trazem em seu conteúdo a obrigatoriedade de revisão.

Cita-se como exemplo a questão dos recursos hídricos. É fato validado pela ciência a importância da existên-

cia de matas ciliares para preservação e conservação dos recursos hídricos. A não existência desta ou sua existência em uma quantidade insuficiente causará a degradação dos recursos hídricos em quantidade e qualidade, impossibilitando seu uso direto. Quanto maior a escassez de água, menor a competitividade da atividade pecuária, pois maior será o custo de produção. Água é o principal alimento e ativo ambiental em qualquer atividade pecuária. Não tê-la na quantidade e qualidade necessárias limitará a produção. Então uma regulação, que vise preservar e conservar esse recurso natural não pode ser alvo de contestação do pecuarista e profissional agropecuário, tão dependente do recurso para sua sobrevivência.

Leis e regulações ambientais proporcionarão a mudança do comportamento produtivo e da atuação dos profissionais pecuários, o que terá como consequência a melhoria da performance ambiental das produções. Performance também deve ser entendida como redução dos custos de produção devido a menor consumo de recursos naturais renováveis e não renováveis.

O afrouxamento das leis ambientais perpetuará práticas ainda cotidianas em nossa pecuária e lesivas à saúde humana e ambiental, como o descarte de esgotos nos

rios, o uso dos resíduos animais como fertilizante sem considerar o princípio do balanço de nutrientes e a significativa emissão de gases e odores. O afrouxamento das leis fomentará campanhas pela redução do consumo de proteína animal devido aos passivos ambientais da atividade, contestações do mercado interno e externo quanto à qualidade ambiental de nossos produtos e a reduzida preocupação com o manejo ambiental da atividade por nossos profissionais, produtores, agroindústrias e cooperativas.

#### *Teoria do Custo de Produção x Custo Ambiental*

Justifica-se que o grande impedimento para realização das intervenções e manejos ambientais são os custos elevados. Muitos têm defendido que eles só serão possíveis se considerarem o conceito ganha-ganha, ou seja, a intervenção ou manejo só se justifica se der lucro. Esse tipo de pensamento contradiz o princípio básico: as intervenções e manejos são implementados para preservar e conservar o ambiente a fim de que as produções se perpetuem no tempo.

Atualmente, também há uma confusão, muitas vezes proposital a fim de tumultuar as discussões e/ou justificar a não correção ambien-

*O afrouxamento das leis ambientais perpetuará práticas ainda cotidianas em nossa pecuária e lesivas à saúde humana e ambiental.*

tal, de que, se fossem disponibilizados recursos financeiros ao produtor na forma de subsídios, créditos e pagamento pelos serviços ambientais que ele presta à sociedade, os problemas estariam resolvidos. Todas as formas citadas são instrumentos econômicos que devem ser considerados, mas nunca serão a solução única para os problemas. Se assim fosse, outros países, com todo seu histórico de subsídios ambientais e produtivos, não teriam problemas graves e generalizados relacionados à atividade pecuária.

Mesmo as formas mais simples de intervenção, como a esterqueira, que é um tanque de armazenamento de dejetos, tem seu custo questionado, pois se diz que esse é proibitivo para a realidade de alguns produtores. Ressalta-se que o risco ambiental de uma esterqueira é muito alto devido aos gases que são emitidos; a possibilidade de contaminação do solo, se a estrutura não for corretamente construída, a poluição das águas superficiais por escoamento e subterrâneas por infiltração. Então se pergunta: O custo da esterqueira frente ao custo de toda degradação que o incorreto manejo dos resíduos pode causar, não compensa?

A fragilidade da argumentação de que os custos ambientais inviabilizam a produção é verificada na resposta à per-

gunta: Qual o custo ambiental do quilograma da carne suína, de frango, etc., do litro de leite, entre outros. A resposta ainda é a mesma. Não sabemos!

Então, como dizer que esse custo é inviável se nem sabemos quanto é. Muitos confundem custo ambiental com o custo para obtenção da licença ambiental. O custo do licenciamento será um dos quesitos que entrará no custo ambiental.

A argumentação de que o custo é muito alto só poderá ser aceita quando tivermos conhecimento de quanto é esse custo. Para isso os resíduos não devem mais ser entendidos como uma

externalidade da atividade, mas sim como parte do processo de criação, e como tal, devem fazer parte das análises de custo de produção.

## 4. Impacto ambiental das produções animais

Os atores das cadeias pecuárias têm a percepção de que os impactos ambientais são sempre negativos, mas estes também podem ser positivos. Uma área de pastagem que foi degradada pelo intenso uso sem reposição de nutrientes ao solo pode ser recuperada. Essa recuperação caracteriza um impacto ambiental positivo. Portanto, os profissionais agropecuários têm a função de promover impactos positivos e não

*Os profissionais agropecuários têm a função de promover impactos positivos e não somente de corrigir os impactos negativos.*

somente de corrigir os impactos negativos. A correção sempre significará maiores custos.

A percepção de negatividade se dá pelo fato de a avaliação de impacto ambiental (AIA) sempre ocorrer no momento do licenciamento da atividade. A pecuária nacional ainda não internalizou a avaliação de impacto como uma rotina da produção, só realizando-a por uma obrigação legal. A avaliação de impacto deve ter um caráter preventivo e não corretivo.

A principal função de uma avaliação de impacto é propiciar a tomada de decisão a partir da análise de cenários, ou seja, comparar a situação presente com a que ocorrerá a partir da implantação do empreendimento, analisar se os benefícios e potenciais prejuízos ambientais, sociais e econômicos justificam a atividade. Na Figura 2 observam-se os

potenciais impactos que as produções animais podem causar.

Outro erro de interpretação diz respeito ao que avaliar. É senso comum que a AIA deve avaliar o impacto da atividade na quantidade e qualidade dos recursos naturais renováveis e não renováveis. Mas a AIA não se limita somente às questões ambientais, devendo compreender também as sociais e econômicas.

A legislação brasileira, por meio da Resolução CONAMA 01, de 23 de janeiro de 1986, define impacto ambiental como qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam:

I - a saúde, a segurança e o bem-estar da população;

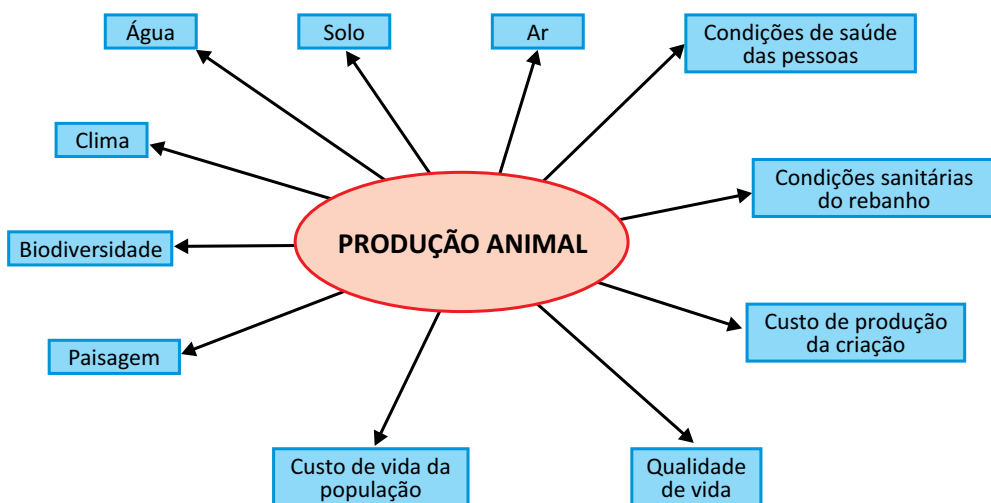


Figura 2. Potenciais impactos que as produções animais podem causar nas dimensões ambientais, sociais e econômicas.



II - as atividades sociais e econômicas; III - a biota; IV - as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; V - a qualidade dos recursos ambientais.

De acordo com a Resolução, percebe-se que realizar a AIA não é um processo simples e esta não pode ser realizada somente por um profissional, mas sim por um grupo de profissionais que possuam conhecimentos em ciências agrárias, econômicas, sociais e exatas.

A AIA e os processos de licenciamento ambiental das atividades estão sendo feitos por somente um profissional que se limita a demonstrar para a agência ambiental que o empreendimento não irá causar impacto ambiental, pois os resíduos irão ser aproveitados e tratados de forma correta.

Mesmo com essa abordagem, a atividade poderá adquirir a licença, mas ser fonte de poluição. Tomando-se como exemplo a suinocultura, as leis estaduais de licenciamento da atividade permitem que os dejetos sejam utilizados como fertilizante; assim, se o produtor atestar que ele dispõe de área agrícola suficiente para receber a quantidade de dejetos gerada, ele obterá a licença. Muitas vezes, após a obtenção da licença, não existe uma fiscalização a fim de avaliar se o produtor está cumprindo com o acordado. Essa realidade ainda é

*O aproveitamento dos resíduos como fertilizante é a forma de manejo predominante nas produções animais brasileira e mundial.*

agravada, pois grande parte dos produtores desconhece o conceito de balanço de nutrientes. Como resultado, aplica-se dejetos em excesso; isso faz com que a atividade se torne uma fonte de poluição difusa. Esse tipo de poluição é definido como aquela resultante de processos de escoamento de água superficial, precipitação atmosférica, drenagem e infiltração no solo, uso de agroquímicos e processos hidrológicos que foram modificados.

## **5. Uso de resíduos animais como fertilizante: estudo de caso**

É uma afirmação correta que os resíduos animais são ricos em nutrientes; assim, podem ser aplicados no solo como meio de proporcionar o crescimento das culturas vegetais, bem como reduzir os custos com adubação química. O aproveitamento dos resíduos como fertilizante é a forma de manejo predominante nas produções animais brasileira e mundial. Tendo em vista a contínua intensificação e concentração territorial dessas produções, verifica-se um crescente excedente de resíduos em relação à área agrícola apta disponível para sua aplicação.

A utilização de esterco, dejetos, compostos, biofertilizantes e lodos como fertilizantes e condicionadores fi-

sicos e químicos dos solos é aconselhável, desde que realizada considerando o conceito de Balanço de Nutrientes e o preceito dos quatro Cs (produto certo, taxa certa, tempo certo, local certo). Na Figura 3, observa-se o que deve ser considerado para o cálculo do balanço de nutrientes.

Neste estudo de caso, apresenta-se o balanço de nutrientes, considerando uma propriedade rural diversificada, condição que facilita o manejo ambiental e o uso dos resíduos como fertilizante. Propriedades com baixo nível de diversificação produtiva, duas ou três atividades agrícolas e/ou pecuárias, terão maior dificuldade no aproveitamento dos resíduos como fertilizante, pois as áreas aptas à agricultura podem não comportar toda a carga de nutrientes. Nessa condição, duas alternativas se apresentam: o uso de sistemas de

tratamento de resíduos e/ou a exportação dos resíduos para outras áreas que tenham carência de nutrientes. Ambas as alternativas podem significar maiores custos e, no caso de sistemas de tratamento, demanda mão de obra capacitada.

Os dados produtivos considerados para a realização do balanço de nutrientes foram coletados em uma propriedade localizada no Município de Concórdia, Santa Catarina. Na Tabela 1, observam-se as culturas vegetais e animais da propriedade com suas respectivas áreas de cultivo e plantéis. A área total da propriedade era de 21 ha.

Para calcular-se a quantidade total de dejetos de suínos produzidos na propriedade, utilizou-se as quantidades especificadas para animais em terminação estipuladas na Instrução Normativa nº 11, de Santa Catarina. A quantidade to-

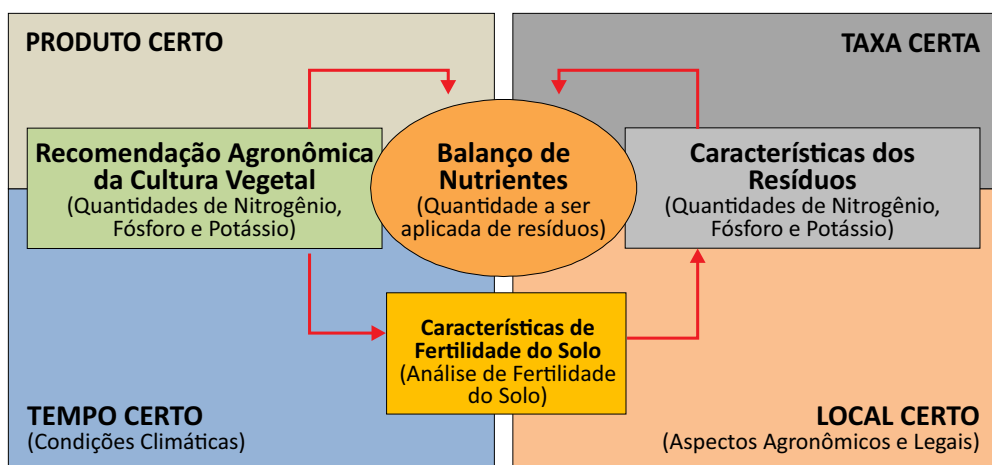


Figura 3. Premissas a serem consideradas no balanço de nutrientes.

**Tabela 1. Culturas vegetais e animais desenvolvidas na propriedade de estudo**

Atividades Agrícolas	Área ocupada (ha)
Milho	6,5
Erva-Mate	2,5
Gramínea anual de inverno (Azevém)	7,5
Gramíneas de estação quente (Milheto e Braquiária)	3,0
Atividades Pecuárias	Plantel
Suinocultura (Unidade de Terminação)	450 suínos
Frangos de Corte criados sob cama de maravalha	14.000 aves
Bovinos de Leite (criação semiextensiva)	36 UA*

\*Unidade Animal (UA) equivalente a 450 kg de peso vivo.

tal de cama de frango foi calculada considerando-se uma produção de 1,5 T de cama por 1.000 frangos, e disponibilizada para utilização como adubo após seis ciclos de produção. A concentração de nitrogênio e fósforo presente na cama de maravalha foi calculada de acordo com as recomendações da Comissão de Fertilidade do Solo – RS/SC (2005). Para o cálculo da quantidade de dejetos gerados pelos bovinos leiteiros, utilizou-se a relação de 39 kg de dejeito por Unidade Animal. A concentração de nitrogênio e fósforo presente nos dejetos bovinos foi calculada de acordo com as recomendações da Comissão de Fertilidade do Solo – RS/SC (2005). No balanço de nutrientes foram tomados como elementos referenciais o nitrogênio (N) e o fósforo (P). Com isso, calculou-se a necessidade desses elementos para cada cultura vegetal, segundo as recomendações agrônômicas

da Comissão de Fertilidade do Solo – RS/SC (2005).

Estipular a quantidade de dejetos gerados por cada categoria animal não é uma tarefa fácil, pois os dados disponíveis na literatura técnico-científica são muito variáveis. As quantidades de nutrientes nos resíduos também são variáveis devido a fatores como: o manejo nutricional dos animais, sexo, genética, manejo hídrico da propriedade, condições de conforto ambiental nas instalações e qualificação da mão de obra. Para o cálculo do balanço de nutrientes, o mais recomendável é que se faça uma análise dos diversos resíduos originados na propriedade, em vez de se utilizarem referenciais da literatura, mas para isso deve-se considerar o custo das análises e a proximidade de laboratórios. Se a análise dos resíduos não for possível, sugere-se utilizar informações da literatura, considerando

condições ambientais e produtivas semelhantes à propriedade.

A Tabela 2 apresenta o balanço de nutrientes por atividade zootécnica e na propriedade. Analisando-se cada produção animal em separado e relacionando esta com a necessidade das culturas, verifica-se que há um déficit de nitrogênio e fósforo para todas. Isso indicaria a necessidade de se realizar uma adubação química. Mas essa seria uma visão errada e de alto risco ambiental, pois a propriedade é um mosaico de atividades produtivas, e to-

das devem ser consideradas no manejo ambiental.

O balanço total de nutrientes da propriedade demonstra um *deficit* de nitrogênio, mas um excesso de fósforo. A quantidade total de fósforo em excesso proporcionada pelos dejetos animais foi de 2.076,47 kg de  $P_2O_5$  ano<sup>-1</sup>, isso significa 38,4% além da exigência das culturas. Portanto o manejo de resíduos e ambiental da propriedade deveria ter como referencial esse elemento, e não o nitrogênio. O déficit de nitrogênio seria preenchido pela adubação química.

**Tabela 2. Balanço de nutrientes por atividade zootécnica e na propriedade**

Animais	Quantidades de nutrientes fornecidas pelos resíduos	Disponibilidade dos nutrientes no primeiro cultivo*	Balanço de Nutrientes**	Residual de nutrientes no solo
<b>SUÍNOS</b>				
kg de N ano <sup>-1</sup>	2.897,40	1.448,70	- 1.406,30	1.448,70
kg de $P_2O_5$ ano <sup>-1</sup>	2.368,50	1.421,10	- 78,90	947,40
<b>AVES</b>				
kg de N ano <sup>-1</sup>	735	367,50	- 2.487,50	367,50
kg de $P_2O_5$ ano <sup>-1</sup>	798	478,80	- 1.021,20	319,20
<b>BOVINOS DE LEITE</b>				
kg de N ano <sup>-1</sup>	717,44	358,72	- 2.497,00	358,72
kg de $P_2O_5$ ano <sup>-1</sup>	409,97	245,98	- 1.254,00	163,99
<b>Balanço da Propriedade</b>				
kg de N ano <sup>-1</sup>	4.349,84	2.174,92	- 680,08	2.174,92
kg de $P_2O_5$ ano <sup>-1</sup>	3.576,47	2.145,88	645,88	1.430,59

\*a disponibilidade de N no primeiro cultivo é de 50% e a de  $P_2O_5$ , de 60%, segundo a Comissão de Fertilidade do Solo – RS/SC (2005).

\*\*Balanço de Nutrientes é a subtração da disponibilidade dos nutrientes no primeiro cultivo pela necessidade de N e  $P_2O_5$  das culturas da propriedade.

Destaca-se que grande parte desses elementos não estarão disponíveis para as plantas no primeiro ciclo de cultivo, mas presentes no solo de forma residual. O residual deverá, obrigatoriamente, ser considerado nas adubações futuras. Ele pode ser reduzido pelo uso de sistemas de tratamento, como biodigestores e plataformas de compostagem, os quais mineralizarão a matéria orgânica, tornando os nutrientes mais disponíveis para o primeiro cultivo, ressaltando que o aumento da disponibilidade inicial obrigará a uma menor aplicação de resíduos. O residual é ambientalmente preocupante para o nitrogênio, pois este apresenta elevada mobilidade, podendo atingir os corpos d'água na forma de nitrato. O fósforo é um elemento de baixa mobilidade nos solos brasileiros, mas, por processos de escoamento superficial e erosão, o elemento poderá atingir as águas superficiais.

Pode-se intervir de quatro formas para diminuir a quantidade de nutrientes ofertada e o residual no solo: melhorar o manejo nutricional, utilizar culturas vegetais que proporcionem maior demanda de nutrientes, exportar os resíduos para outras áreas e utilizar sistemas de tratamento de resíduos.

O aproveitamento dos resíduos como

*Quatro formas para diminuir a quantidade de nutrientes ofertada e o residual no solo: melhorar o manejo nutricional, utilizar culturas vegetais que proporcionem maior demanda de nutrientes, exportar os resíduos para outras áreas e utilizar sistemas de tratamento de resíduos.*

fertilizante é uma prática que sempre estará presente nas unidades de produção animal. Para que este seja feito de forma correta e com reduzido risco ambiental, necessita-se manejar a propriedade considerando todas as atividades econômicas; caso contrário, esse aproveitamento será um constante foco de poluição difusa. A realização do balanço sempre deverá ser iniciada pela unidade produtiva, mas também deve ser considerado o balanço de nutrientes da bacia hidrográfica.

## 6. Zootecnia de Conservação

As atividades zootécnicas estão numa encruzilhada, ou se continua a produzir proteína animal da forma atual, com a certeza de que o passivo ambiental será grande, o que poderá inviabilizar as produções em determinadas regiões devido à escassez de recursos naturais

e/ou comprometimento da qualidade destes, ou inserimos o manejo ambiental no cotidiano das produções. A decisão está em nossas mãos. Estamos frente a uma oportunidade. Podemos mostrar que a produção animal brasileira pode ser grande, não só pelos seus índices produtivos, mas também pelo seu padrão ambiental.

Assim, precisamos pensar em uma Zootecnia de Conservação. Defino-a como: *área da ciência zootécnica que promove a conservação dos ecossistemas por meio do manejo ambiental das produções, pautando-se pela manutenção das condições de bem-estar social, cultural e econômico dos indivíduos, da propriedade e do entorno.*

A aplicação dessa Zootecnia de Conservação depende do domínio dos seguintes conhecimentos: o conhecimento dos recursos naturais renováveis e não renováveis e como estes se relacionam com a produção animal; o conhecimento dos conceitos fundamentais das ciências ambientais; o conhecimento quantitativo e qualitativo dos resíduos gerados; o conhecimento da legislação ambiental; o conhecimento de outras atividades que podem ser parceiras na viabilização do manejo ambiental; o

*Zootecnia de Conservação: área da ciência zootécnica que promove a conservação dos ecossistemas por meio do manejo ambiental das produções, pautando-se pela manutenção das condições de bem-estar social, cultural e econômico dos indivíduos, da propriedade e do entorno.*

conhecimento das várias práticas e tecnologias de aproveitamento e tratamento dos resíduos animais; o conhecimento da economia da produção e ambiental; o conhecimento da sociedade e de seus valores ambientais, econômicos e culturais.

É possível produzirmos proteína animal com conservação ambiental. Para isso mudanças, principalmente culturais, devem ocorrer em todos os elos das ca-

deias de produção. Na última década, avanços ocorreram na melhoria das condições ambientais de nossas produções. Esses avanços foram, em grande parte, resultado de pressões sociais e de legislação, e, por assim serem, não causaram as mudanças culturais necessárias e as práticas não foram integralmente internalizadas, pois as mudanças foram promovidas para atender a um objetivo que não era o manejo ambiental das atividades.



# 6. Alternativas Econômicas na Utilização dos Dejetos Sólidos e Efluentes da Pecuária

Renata Soares Serafim – CRMV-SP 02321  
Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. das Faculdades Associadas de Uberaba – FAZU

## Introdução

Estimativas indicam que, se a população mundial continuar crescendo como o previsto, haverá um adicional de dois bilhões de pessoas até 2050<sup>12</sup>. Com o aumento da população mundial, aumenta-se a demanda pela produção de alimentos, e com isso todos os segmentos da agropecuária fazem uso de áreas cada vez menores para aumen-

*A intensificação dos sistemas agropecuários com o intuito de aumentar a produção de proteína animal acarreta aumento da poluição ambiental.*

tar a densidade animal, de forma a intensificar a produção animal (bovinos, aves e suínos).

Contudo, a intensificação dos sistemas agropecuários com o intuito de aumentar a produção de proteína animal, de forma a atender a demanda mundial,

acarreta aumento da poluição ambiental, que representa uma ameaça à saúde pública e dos animais.

O Brasil conta com rebanhos bastante nu-

merosos, nos quais se destacam a bovinocultura, com aproximadamente 209 milhões de cabeças<sup>16</sup>, a suinocultura, que responde

pelo quarto maior efetivo mundial, com quase 39 milhões de animais<sup>29</sup>, e a avicultura, cujo plantel, em 2011, foi de mais de um bilhão de aves (1.028,181)<sup>16</sup>.

Para que haja maior controle da atividade pecuária praticada, de forma a atender os preceitos da sustentabilidade ambiental, permitindo menores emissões de gases poluentes, como os gases de efeito estufa (GEE), deve-se sempre levar em consideração a produção de dejetos gerada por cada uma das espécies supracitadas, o dimensionamento das instalações, que atualmente abrigam rebanhos mais numerosos em menores áreas, a destinação dos dejetos produzidos e o tratamento destes antes de serem utilizados na reciclagem energética e de nutrientes.

*Os sistemas de produção de suínos do Brasil propiciam elevada produção de dejetos líquidos.*

## Quantificação dos dejetos

### Suinocultura

Conhecendo-se a produção diária de dejetos de cada espécie e os fatores responsáveis pela variação das características e quantidades dos mesmos, como a espécie, sexo, tamanho, raça, atividade, idade do animal, digestibilidade, teor de proteína e fibra da dieta, temperatura ambiente<sup>7</sup>, etc., o planejamento da criação torna-se mais seguro ambientalmente, com margem de segurança para a ampliação do plantel, e conseqüentemente alternativas viáveis para a destinação dos efluentes gerados. As variações nas características dos dejetos de suínos, por exemplo, também ocorrem quando os animais estão sob condições de estresse ambiental, fisiológico ou social.

Os sistemas de produção de suínos do Brasil propiciam elevada produção

**Tabela 1. Produção média diária de dejetos nas diferentes fases produtivas dos suínos<sup>26</sup>**

Fases de Produção	Esterco kg/dia	Esterco + urina/dia (kg)	Dejetos líquidos L/dia	Produção m <sup>3</sup> /ani./mês dejetos líquidos
25 - 100 kg	2,30	4,90	7,00	0,25
Porcas gestantes	3,60	11,00	16,00	0,48
Porcas lactação	6,40	18,00	27,00	0,81
Macho	3,00	6,00	9,00	0,28
Leitões creche	0,35	0,95	1,40	0,05
Média	2,35	5,80	8,60	0,27



de dejetos líquidos (Tab. 1), gerando problemas de manejo, armazenamento, distribuição e poluição ambiental. A concepção das edificações, alimentação, tipo de bebedouros, sistema de limpeza e manejo determinam, basicamente, as características e o volume total dos dejetos produzidos. Considerando-se esses aspectos, deve-se prever a instalação de bebedouros adequados, a aquisição de equipamentos de limpeza de baixa vazão e alta pressão, e a construção de sistemas que escoem a água de desperdício dos bebedouros e de limpeza para sumidouros e que evitem a entrada da água do telhado e das enxurradas nas calhas e esterqueiras<sup>9</sup>.

Os dados apresentados na Tabela 1 evidenciam a variação da produção de dejetos líquidos em função da categoria animal e, de acordo com o volume produzido, deve-se dispensar maior atenção ao armazenamento desses resíduos e à sua destinação.

A época do ano também exerce grande influência sobre a quantidade de resíduos produzidos pelos suínos, e o que se observa é que no verão o aumento das dejeções ocorre devido às perdas de água. Alguns autores verificaram que a produção total de dejetos de suínos variou de 3,6 kg/animal/dia, no inverno, a 8,4 kg/animal/dia no verão, com uma média de 5,7 kg/animal/dia; e em relação ao PV do animal variou de 6,4% a 16,9%, com média de 10,7%<sup>23</sup>.

Outro aspecto que interfere de for-

ma considerável no volume de dejetos produzidos pela suinocultura é o conteúdo de água presente nos dejetos, o que também afeta as características físico-químicas destes. O dejetos é considerado pouco diluído quando apresenta mais de 4% de matéria sólida (MS), muito diluído, com menos de 2,5% de MS, e de média diluição, com 2,6 a 3,9% de MS. Estima-se que a produção de efluentes das unidades de Ciclo completo seja 100 L/matriz/dia, 60 L/matriz/dia para as unidades produtoras de leitões e 7,5 L/terminado/dia. Portanto, uma granja em Ciclo completo, com 80 matrizes e dejetos “poucos diluídos”, gera 8000 L/dia, cerca de 12.000 L/dia com “diluição média” e 16.000 L/dia quando “muito diluído”<sup>28</sup>.

Assim sendo, os valores de produção total dos dejetos de suínos somente poderão ser avaliados corretamente quando se considerar também o seu grau de diluição<sup>30</sup>.

Geralmente os animais são ineficientes em transformar os nutrientes a eles oferecidos em produto (carne, leite, ovos). No caso de aves, estima-se que somente 35 a 45% do nitrogênio proteico consumido seja transformado em produto animal; e para suínos em crescimento, há ocorrências de utilização de nitrogênio e fósforo ingeridos na dieta de 30 a 35%<sup>19</sup>.

De maneira geral, para reduzir as perdas desses nutrientes nos dejetos, e consequentemente a emissão de GEE

proveniente desses elementos, alguns parâmetros nutricionais devem ser observados, dentre eles a composição bromatológica dos ingredientes, a digestibilidade dos nutrientes poluentes em cada um dos ingredientes e as tecnologias disponíveis para aumentar tal digestibilidade, os níveis requeridos de N e P nas diferentes fases de produção, etc.

## **Bovinocultura**

A geração de resíduos na bovinocultura de leite advém principalmente do esterco (puro e/ou diluído com água) recolhido na sala de ordenha e do esterco mais cama dos estábulos. Quando o gado leiteiro é manejado em instalações do tipo *free stall*, o manejo do esterco pode ser feito na forma líquida, semissólida e sólida. Se o regime de confinamento é total e a opção é por esterco líquido, todos os dejetos (fezes, urina e água) serão coletados<sup>3</sup>.

Os dejetos nas granjas leiteiras têm recebido crescente atenção, devido às perdas de nutrientes que podem causar contaminação do ar, do solo, de águas superficiais e subterrâneas.

Bovinos alimentados com dietas ricas em concentrados, especialmente

*A geração de resíduos na bovinocultura de leite advém principalmente do esterco.*

*Bovinos alimentados com dietas ricas em concentrados excretam aproximadamente 28 kg de dejetos líquidos diariamente.*

aqueles criados em regime de confinamento, com peso vivo de 454 kg, excretam aproximadamente 28 kg de dejetos líquidos diariamente (85% de umidade). Devido ao aumento da ingestão de alimentos e diminuição da digestibilidade da ração, a quantidade de matéria seca do esturme produzido aumenta à medida que o teor de forragem da dieta aumenta. A digestibilidade da porção concentrada da dieta também pode afetar a produção de dejetos<sup>8</sup>.

Considerando o rebanho bovino brasileiro, superior a 209 milhões de animais, com uma produção média de 28 kg de fezes por dia, pode-se prever a quantidade exorbitante de fezes produzidas diariamente (5.852.000.000 kg), com um teor de sólidos totais (ST) de 15%, em média. A partir daí, o tal volume merece especial atenção devido aos prejuízos ambientais que podem causar pela falta de tratamento e de manejo adequado. Esses resíduos orgânicos, quando bem manejados e reciclados adequadamente no solo, saem da condição de poluentes e passam a constituir valiosos insumos para a produção agrícola sustentável. Produzir de forma sustentável implica reduzir os custos e

evitar desperdícios de energia e de matérias-primas, aumentando a produtividade, a competitividade do capital e da mão de obra<sup>5</sup>.

A alimentação de bovinos confinados, nutricionalmente balanceadas, com alta energia, pode apresentar várias vantagens sobre os sistemas de criação extensiva, e alguns riscos potenciais também. A dieta desses animais acarreta a concentração de nutrientes em áreas geográficas relativamente pequenas. Nesse sentido, alguns nutrientes de preocupação ambiental primária para a agricultura são o nitrogênio (N), fósforo (P), carbono (C) e enxofre (S). Além desses elementos, hormônios endógenos e exógenos, antibióticos e outros aditivos alimentares podem se acumular nos dejetos<sup>36</sup>.

Cerca de 90% de N presente na dieta de bovinos confinados é excretado e apenas 14% é retido pelo animal<sup>8</sup>, e cerca de 60% de consumo de N é volatilizado à atmosfera na forma amônia (NH<sub>3</sub>), N<sub>2</sub>O e outros compostos nitrogenados caracterizados como gases de efeito estufa e contribuintes do aquecimento global<sup>36</sup>.

Os ingredientes utilizados na formulação das dietas também contribuem com as variações das taxas de excreção de nitrogênio e fósforo nos dejetos.

*60% do consumo de N é volatilizado à atmosfera na forma amônia (NH<sub>3</sub>), N<sub>2</sub>O e outros compostos nitrogenados caracterizados como gases de efeito estufa e contribuintes do aquecimento global.*

Pesquisadores australianos observaram que bovinos alimentados dos 70 aos 300 dias de idade com rações contendo sorgo apresentaram excreções de 71,0 a 85,5 kg/animal/ano e 10,4 a 13,0 kg/animal/ano de nitrogênio e fósforo, respectivamente,

e de 65,0 a 76,5 kg/animal/ano e 9,1 a 11,3 kg/animal/ano de nitrogênio e fósforo, respectivamente, quando receberam dieta à base de cevada<sup>36</sup>.

Alguns autores avaliaram a produção de dejetos de vacas leiteiras de alta produção, com peso corporal médio de 454 kg, recebendo dieta basal por quatro períodos de coleta, e estimaram produções médias de 48,10 kg de matéria natural (fezes e urina) por dia, dos quais 6,08 kg eram de matéria seca<sup>25</sup>. Em outros trabalhos, em que os autores forneceram diferentes dietas às vacas leiteiras, as produções médias de dejetos obtidas foram de 29,21; 31,97; 27,80 e 26,10 kg, respectivamente, para as dietas contendo silagem de milho, cana-de-açúcar *in natura*, cana-de-açúcar hidrolisada com cal virgem e com cal hidratada<sup>37</sup>.

A geração de dejetos em bovinos leiteiros é altamente dependente do consumo de alimentos, que, por sua vez, se relaciona à produção diária de leite. Vacas holandesas – estimaram para vacas holandesas –, consumindo em mé-

dia 18,7 kg de matéria seca/dia e produzindo em torno de 22 kg de leite/dia, geram diariamente 62,48 kg de fezes + urina<sup>34</sup>.

De maneira geral, a quantidade de dejetos produzidos por bovinos de corte é inferior à produzida por bovinos leiteiros, principalmente quando se toma por base animais em pastejo, sistema predominante no Brasil. Bovinos de corte com 450 kg de peso vivo (1 UA) excretam 8,5 toneladas por ano, e bovinos leiteiros, 12 toneladas/ano de dejetos frescos<sup>11</sup>.

## Tratamento dos dejetos

O próprio sistema de produção indicará a opção mais adequada para o tratamento dos dejetos, de forma a serem, posteriormente, utilizados como biofertilizantes (estado líquido) em substituição parcial ou total aos adubos químicos, ou compostos (estado sólido).

Dentre os processos biológicos passíveis de serem utilizados no tratamento dos resíduos gerados pela produção animal (bovinocultura leiteira e de corte, suinocultura, avicultura, etc.), pode-se citar, dentre outros,

*A quantidade de dejetos produzidos por bovinos de corte é inferior à produzida por bovinos leiteiros, principalmente quando se toma por base animais em pastejo, sistema predominante no Brasil.*

*O processo de digestão anaeróbia caracteriza-se pela transformação de compostos orgânicos complexos em substâncias mais simples que são metabolizadas, resultando em uma mistura de gases que formarão o biogás.*

a biodigestão anaeróbia, compostagem ou lagoas de decantação. Cada resíduo, de acordo com sua característica físico-química, será aproveitado com maior eficiência em um ou outro sistema de tratamento, resultando

em produto estabilizado e com elevado valor agregado.

## Biodigestão anaeróbia dos dejetos animais

Devido à crescente dependência do mundo em relação aos combustíveis derivados do petróleo, houve algumas mudanças desde o início do século que possibilitaram o uso de fontes alternativas para produção de energia, como os óleos vegetais, gás natural e biogás.

O processo de digestão anaeróbia caracteriza-se pela transformação de compostos orgânicos complexos em substâncias mais simples que são metabolizadas, resultando em uma mistura de

gases que formarão o biogás: metano (CH<sub>4</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), amônia (NH<sub>3</sub>), gás sulfídrico (H<sub>2</sub>S), além da energia<sup>2, 22, 23, 31</sup>.

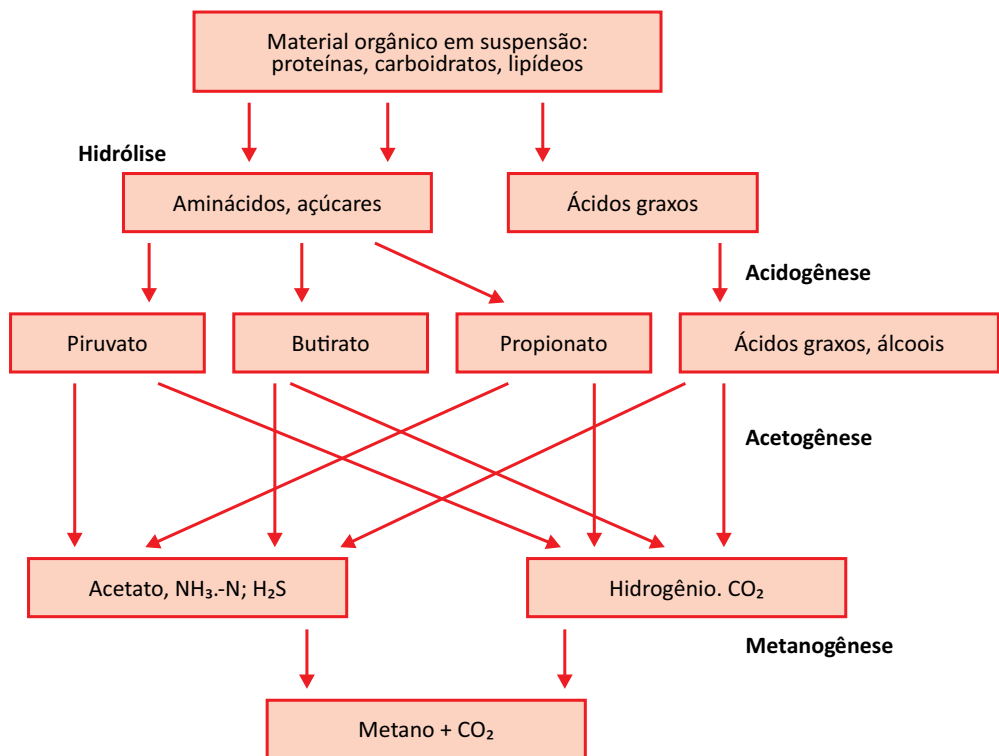


Figura 1. Sequência de processos na digestão anaeróbia de macromoléculas complexas<sup>24</sup>.

A microbiologia do processo de biodigestão anaeróbia pode ser esquematizada no fluxograma representado na Figura 1, o qual ilustra as fases da transformação da matéria orgânica em biogás.

O processo de biodigestão anaeróbia apresenta ser um eficiente modelo para reciclagem energética de resíduos, principalmente por fornecer um tratamento adequado ao efluente, tornando-o apto para sua utilização como biofertilizante após a estabilização da matéria orgânica. A maioria dos nutrientes permanece no material tratado e pode ser

recuperada para o uso na agricultura<sup>31</sup>.

Esse processo apresenta outros, como o tratamento de resíduos, tanto na forma líquida quanto na forma sólida, constituindo uma eficiente forma de tratamento por trabalhar quantidades consideráveis de material, alta redução de DBO, produção de biofertilizante, pequena produção de lodo, baixos custos operacionais e de investimento, obtenção de energia, através do biogás, redução de impactos ambientais, de patógenos e de odor, e demanda pequenos espaços de terra para o tratamento<sup>21</sup>.

O efluente tratado através do processo anaeróbio pode ser reutilizado na irrigação de pastagens sem qualquer impacto negativo relacionado a

*O efluente tratado através do processo anaeróbio pode ser reutilizado na irrigação de pastagens sem qualquer impacto negativo.*

maus odores, e tanto o biogás quanto o biofertilizante somente serão utilizados após sua estabilização, a fim de se evitar problemas relacionados com mau odor, moscas, contaminação do solo, plantas, águas subterrâneas e superficiais devido à presença de nutrientes em formas não assimiláveis<sup>38</sup>. Em trabalho realizado com a aplicação de 0 a 600 m<sup>3</sup> de biofertilizante/ha/ano, obtido a partir do efluente de suinocultura, foi observado um aumento na produção de massa de forragem e da proteína bruta em pastagem de *Brachiaria brizantha* CV. Marandu, utilizando-se a maior dose de aplicação (Tab. 2).

O biofertilizante já se encontra em sua forma assimilável quando se encer-

ra o processo de fermentação anaeróbia, portanto não necessita de um tempo de decomposição adicional quando lançado ao solo, e não contamina o

mesmo com bactérias nocivas nem permite a proliferação de ervas daninhas.

## Potenciais de produção de biogás

O biogás é produzido em biodigestores anaeróbios, caracterizados como uma câmara fermentativa, na qual se processa a fermentação da matéria orgânica. Os biodigestores são acompanhados de uma campânula acumuladora do gás desprendido da biomassa, conhecida como gasômetro. Na escolha do tipo do biodigestor deve-se levar em consideração o resíduo a ser tratado (sólidos ou líquidos), sendo que, em cada tipo, o processo poderá ocorrer com maior ou menor eficiência, dependendo dos

**Tabela 2. Produção de massa de forragem e proteína bruta da *Brachiaria brizantha* CV. Marandu adubada com biofertilizante<sup>33</sup>**

Tratamentos	Produção de Massa Seca (kg/ha/ano)	Proteína Bruta (PB)
Testemunha	1348 D	8,43 D
100 m <sup>3</sup>	1884 C	11,04 C
200 m <sup>3</sup>	2155 BC	12,78 B
300 m <sup>3</sup>	2434 B	13,00 AB
600 m <sup>3</sup>	2847 A	14,39 A

\* Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5%.

meios disponíveis para sua construção e dos objetivos que se pretende atingir com sua concepção.

A produção de biogás varia em função da composição química da matéria-prima utilizada, da espécie animal (Tab. 3), de fatores relacionados ao manejo nutricional dos animais, da temperatura ambiente e da eficiência do sistema digestor.

O conhecimento da equivalência energética do biogás constitui-se um importante parâmetro para a escolha do processo da biodigestão anaeróbia como alternativa de tratamento dos dejetos animais. Além da reciclagem energética e de nutrientes, o processo favorece a agregação de valor a um resíduo que poderia ser uma ameaça à saúde

humana e de animais e ao meio ambiente, caso não fosse tratado. Os dados da Tabela 4 apresentam algumas equivalências energéticas de 1,0 m<sup>3</sup> de biogás.

Ao projetar um biodigestor para atender às demandas energéticas de uma família, alguns autores encontraram parâmetros importantes e eficazes quanto ao uso do biogás, como, por exemplo: gás necessário para cocção, 0,24 m<sup>3</sup> de biogás por pessoa por dia; iluminação, 0,12 a 0,15 m<sup>3</sup> de biogás por hora por lâmpada; motores, 0,45 m<sup>3</sup> de biogás por HP por hora<sup>32</sup>. Em outros estudos, foi possível verificar que 16 m<sup>3</sup> de biogás são suficientes para movimentar um motor de 5 HP durante 5 horas/dia, produzindo eletricidade para iluminação e movimentando máquinas; para

**Tabela 3. Produção de biogás de acordo com a espécie animal**

Fonte de esterco	Dejeto/dia (kg)	Produção gás/kg (m <sup>3</sup> )	Gás/animal/dia (m <sup>3</sup> )
Bovino	10,00	0,0371	0,37
Suíno	2,25	0,0636	0,18
Galinha (2 kg)	0,18	0,0050	0,01
Fezes humanas	0,35	0,0707	0,03
Ovino	2,80	-	-
Equino	10,00	-	-

**Tabela 4. Equivalência energética do biogás<sup>26</sup>**

Gás	Equivalência energética
Biogás (m <sup>3</sup> )	0,66 L de diesel
	0,7 L de gasolina
	0,6 a 0,8 L de petróleo
	0,43 a 0,55 kg de GLP (gás liquefeito de petróleo)

uma geladeira ligada continuamente e um fogão para cozinhar para oito pessoas<sup>20</sup>.

## Compostagem

Entende-se por compostagem o processo biológico aeróbio responsável pela decomposição do material orgânico biodegradável em húmus, por ação dos microrganismos, em ambiente úmido, aquecido, com produção de dióxido de carbono, água, minerais. O material humidificado é facilmente manuseado, estocado, e contribui para a fertilidade e estrutura do solo. Esse processo caracteriza-se pela redução de patógenos, conversão do nitrogênio amoniacal, que

*Entende-se por compostagem o processo biológico aeróbio responsável pela decomposição do material orgânico biodegradável em húmus.*

está em sua forma instável, para formas orgânicas estáveis, redução do volume do resíduo, a natureza do resíduo, e o material compostado ainda pode ser usado como fertilizante<sup>15, 31</sup>.

Alguns fatores podem comprometer a eficácia do processo de compostagem, como a temperatura, aeração, conteúdo da mistura, pH, relação C:N, tamanho das partículas e grau de compactação<sup>15</sup>.

Para a obtenção de um composto estabilizado e ideal para uso agrícola, a relação C/N deve ser mantida em torno de 25 a 40:1, o teor de umidade, por volta de 60%, e a temperatura, entre 60-

**Tabela 5. Gases atmosféricos, fontes e contribuição para o aumento do efeito estufa<sup>6</sup>**

	<b>Gás Carbônico (CO<sub>2</sub>)</b>	<b>Metano (CH<sub>4</sub>)</b>	<b>Óxido Nitroso (N<sub>2</sub>O)</b>	<b>Clorofluorcarbonetos (CFC's)</b>
Principal fonte antrópica	Combustíveis fósseis e desmatamento	Arroz cultivado inundado e pecuária	Fertilizantes e conversão do uso da terra	Refrigeradores e processos industriais
Tempo de vida na atmosfera	50-200 anos	9-15 anos	150 anos	60-100 anos
Taxa anual de contribuição	0,5%	0,9%	0,3%	4%
Contribuição relativa ao efeito estufa	60%	15%	5%	12%
Potencial calórico em relação ao CO <sub>2</sub>	1	21-25	298-310	3.800-16400



70°C. Valores superiores para a relação C/N significam que não há nitrogênio suficiente para um ótimo crescimento das populações microbianas, e a velocidade de decomposição será reduzida. Por outro lado, baixos valores de C/N induzem perdas de nitrogênio na forma de amônia, causando odores indesejáveis<sup>35</sup>.

## **Redução na emissão de gases de efeito estufa**

Estima-se que a população mundial chegue a 9,5 bilhões de pessoas no ano de 2050. A FAO (2013) estimou que a produção mundial de alimentos deverá aumentar em aproximadamente 70% para atender aos estes efeitos desse crescimento da população mundial.

Muito tem se discutido sobre o meio ambiente e aquecimento global ultimamente, com o intuito de promover uma conscientização acerca da escassez dos recursos naturais, que estão se exaurindo de forma rápida devido às atividades antrópicas, como queima de combustíveis fósseis, aumento da frota de veículos, produção de resíduos, como o lixo, e a produção animal. Como consequência dessas atividades, pode-se destacar a emissão de gases de efeito estufa (GEE) para o meio ambiente, os quais favorecem o aumento da temperatura média

*A agricultura pode contribuir com a redução da temperatura média global, já que as emissões diretas desse setor são responsáveis por 11% do total global de gases de efeito de estufa.*

global do planeta.

Segundo o subsecretário-geral da ONU e diretor executivo do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), Achim Steiner (2013), “a agricultura pode contribuir com a re-

dução da temperatura média global, já que as emissões diretas desse setor são responsáveis por 11% do total global de gases de efeito de estufa”. Os principais gases do efeito estufa responsáveis pelo adicional em relação aos níveis pré-industriais são o gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ), o metano ( $\text{CH}_4$ ) e o óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), conforme pode-se observar na Tabela 5.

O relatório da Agência Nacional de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (2014) considerou o gás metano ( $\text{CH}_4$ ) como o segundo gás de efeito estufa mais prevalente emitido nos Estados Unidos. Em 2012, foi responsável por cerca de 9% de todas as emissões de gases de efeito estufa das atividades humanas nos Estados Unidos. Os processos naturais no solo e reações químicas na atmosfera ajudam a remover esse gás da atmosfera. Seu tempo de vida na atmosfera é muito mais curto do que o do dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), embora seja mais eficiente na captura de radiação do que o  $\text{CO}_2$ . Considerando o potencial de aquecimento global durante um período de 100 anos, o impacto do

CH<sub>4</sub> sobre a mudança climática é 20 vezes maior do que o do CO<sub>2</sub>.

A pecuária de corte e leite busca explorar áreas cada vez menores e alojar um maior

número de animais, com o intuito de intensificar a produtividade (kg carne ou leite/ha), em sistemas confinados, e por isso tem sido apontada como potencial poluidor ambiental, devido à elevada produção de dejetos gerada no sistema e altas concentrações de GEE que contribuem com o aquecimento global.

A mídia tem abordado o assunto rotulando a produção de carne bovina como inimiga ambiental, principalmente devido à necessidade de se produzir proteína animal de melhor qualidade e eficiência, sob a ótica do bem-estar animal, de forma a atender proporcionalmente ao crescimento populacional de modo sustentável. E atender a essa demanda ainda é um grande desafio.

A produção animal deve caminhar ao lado da sustentabilidade ambiental, uma vez que, para promover-se a intensificação dos sistemas de produção, torna-se necessário explorar de forma mais expressiva o potencial genético dos animais, e com isso melhorar a qualidade dos alimentos utilizados na formulação das dietas, ocasionando menor excreção dos principais nutrientes promotores de impactos ambientais.

*O manejo adotado para a estocagem e destinação dos dejetos animais exerce influência considerável na concentração de metano gerado e emitido ao meio.*

O que se observa, na maioria das vezes, dentro dos modelos de produção de proteína animal, é que os produtos classificados como resíduos (dejetos, camas, restos de alimenta-

ção) recebem uma destinação inadequada, contribuindo para o aumento da emissão de GEE e reduzindo a lucratividade da base da cadeia produtiva.

Mesmo rotulada negativamente sobre seus reflexos ambientais, a pecuária nacional apresenta alta capacidade de redução e sequestro de carbono atmosférico.

### **Emissões de metano a partir da pecuária e do manejo dos dejetos bovinos**

Levando-se em consideração que um bovino de 450 kg de peso vivo produz 8,5 toneladas de dejetos por ano, e uma vaca, 12 t<sup>11</sup>, torna-se possível dimensionar os impactos causados pelas exorbitantes produções de dejetos em sistemas confinados, principalmente. Os dejetos produzidos por bovinos confinados são considerados os principais fornecedores de metano para a atmosfera, uma vez que são manipulados como líquidos em lagoas ou tanques<sup>27</sup>.

O manejo adotado para a estocagem e destinação dos dejetos animais exerce influência considerável na concentração de metano gerado e emitido ao meio. Daí a importância de se projetar

adequadamente as instalações para captarem os dejetos de forma ambientalmente segura e sustentável, impedindo que consideráveis volumes de resíduos sejam lançados em mananciais hídricos.

Em sistemas de produção de leite, a questão do tratamento dos dejetos torna-se mais relevante, uma vez que, diariamente, as matrizes em lactação são ordenhadas e mantidas em curral de espera e sala de ordenha por um determinado período do dia, favorecendo maior manipulação e movimentação de dejetos<sup>27</sup>.

O manejo inadequado e a falta de tratamento dos dejetos da produção animal podem acarretar sérios problemas ambientais. Nos grandes produtores de carne bovina, como Estados Unidos, Austrália, Brasil e Argentina, os efluentes oriundos da produção animal são a principal fonte de poluição dos recursos hídricos, superando até mesmo os índices das indústrias<sup>4</sup>.

Em 1994, as emissões de metano provenientes da pecuária foram estimadas em 9,8 Tg, sendo que 9,4 Tg foram atribuídos à fermentação entérica e 0,4 Tg aos sistemas de manejo de dejetos animais. Naquele ano, a categoria de bovinos de corte foi responsável por 81% das emissões de metano provenientes da pecuária no Brasil, e a categoria de gado leiteiro contribuiu com 13%, e as demais categorias de animais, com 6% das emissões<sup>17</sup>. Fontes antrópicas contribuem com 70% das emissões mun-

diais de metano ( $\text{CH}_4$ ), cabendo à agropecuária 30% e aos ruminantes, 25% do total emitido<sup>18</sup>. No contexto das atividades agropecuárias, a produção do arroz contribui com aproximadamente 11% de todas as fontes do metano, e com relação aos ruminantes, a fermentação entérica contribui com 16% e a degradação de dejetos e resíduos, com 17%<sup>10</sup>. Das fontes de metano entéricas, os rebanhos de corte e tração participam com 50%, o rebanho leiteiro, com 19%, e ovinos, com 9% da produção<sup>14</sup>.

### **Redução na emissão de gases promotores do efeito estufa**

As fermentações entéricas oriundas do metabolismo da digestão de carboidratos celulósicos ingeridos pelos animais ruminantes constituem um processo anaeróbio, efetuado pela microbiota ruminal, que converte carboidratos em ácidos graxos de cadeia curta, principalmente ácido acético, propiônico e butírico. Nesse processo fermentativo, são produzidos também o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e o metano ( $\text{CH}_4$ ), em maior ou menor quantidade, dependendo da concentração e proporções relativas dos ácidos produzidos.

O impacto da suplementação proteico-energética na emissão de  $\text{CH}_4$  de novilhos, durante a recria, em pastagem de capim mombaça, foi estudado por alguns autores, e, dentre os resultados obtidos, verificaram produções de  $\text{CH}_4$  por kg de matéria seca (MS) ingeri-

da (g/kg) de 21,51 e 29,76, para animais suplementados e não suplementados, respectivamente. Quanto à perda diária de energia na forma de  $\text{CH}_4$ , não foram observadas diferenças significativas, mas, quando a

perda de energia foi expressa como porcentagem da EB ingerida, os animais suplementados tiveram menor perda ( $P < 0,05$ ) que os não suplementados. Os valores de perda de energia na forma de metano, como porcentagem de EB ingerida, foram de 6,36 e 8,59, para suplementados e não suplementados, respectivamente, o que comprovou que a suplementação com concentrado age de forma efetiva na mitigação da emissão de metano, reduzindo a proporção da energia perdida na forma de  $\text{CH}_4$ .<sup>13</sup>

A intensidade da emissão de metano proveniente da fermentação ruminal depende principalmente do tipo de animal, do consumo de alimentos e do grau de digestibilidade da massa ingerida. As estratégias para a redução das emissões de metano pela pecuária estão ligadas à melhoria da dieta e das pastagens, à suplementação alimentar, ao aumento da capacidade produtiva dos animais e a outras medidas que refletem em melhor eficiência produtiva<sup>27</sup>.

*A intensidade da emissão de metano proveniente da fermentação ruminal depende principalmente do tipo de animal, do consumo de alimentos e do grau de digestibilidade da massa ingerida.*

A produção de metano pelos bovinos e outros ruminantes constitui tema frequente de debates nos meios acadêmicos e científicos. Estima-se que no mundo as fermentações entéricas dos rebanhos produ-

zam de 160 a 200 milhões de toneladas de metano por ano. O Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa dos EUA acompanhou a tendência nacional de emissões de gases de efeito estufa de 1990-2012, conforme apresentado na Tabela 6.

Os dados da Tabela 6 indicam que houve uma redução na emissão total de metano de 1990 a 2012, atribuída, principalmente, aos aterros e tratamento de efluentes, cujos tratamentos são realizados por processos anaeróbios, enquanto a compostagem emite metano para a atmosfera, por se tratar de um método aeróbio.

O USDA (Departamento de Agricultura dos Estados Unidos), a Agência de Proteção Ambiental (EPA) e o Departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE), em parceria com a indústria de laticínios, lançaram em junho de 2014 um conjunto de estratégias voluntárias para acelerar a adoção de biodigestores e outras tecnologias de baixo custo para reduzir a emissão de gases de efeito estufa no se-

tor de lácteos dos Estados Unidos, em 25%, até 2020. O USDA e a EPA continuarão apoiando a implantação da

tecnologia do biodigestor, fornecendo assistência técnica e financeira através de programas de voluntariado.

**Tabela 6. Emissões de metano e óxido nitroso de diferentes resíduos<sup>1</sup>**

Fontes/Gás	1990	2005	2008	2009	2010	2011	2012
CH <sub>4</sub>	7,678	6,048	6,159	6,190	5,926	5,798	5,580
Aterros	7,036	5,339	5,444	5,492	5,234	5,112	4,897
Tratamento de Efluentes	626	635	635	623	619	611	608
Compostagem	15	75	80	75	73	75	76
N <sub>2</sub> O	12	20	21	21	21	22	22
Tratamento de águas residuais domésticas	11	14	15	16	16	16	16
Compostagem	1	6	6	6	5	6	6

## Referências bibliográficas

1. Agência de Proteção Ambiental - EPA, 2014. Capítulo 8 – Waste. Disponível em: <http://epa.gov/climatechange/Downloads/ghgemissions/US-GHG-Inventory-2014-Chapter-8-Waste.pdf>. Acesso em 15/07/2014.
2. CAMARERO, L.; DIAZ, J. M.; ROMERO, F. Final treatment for anaerobically digested piggery slurry effluents. *Biomass and Bioenergy*, v. 11, n. 6, p. 483-489, 1996.
3. CAMPOS, A.T. *Análise da viabilidade da reciclagem de dejetos de bovinos com tratamento biológico, em sistema intensivo de produção de leite*. 1997. 161p. Tese (doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.
4. CAMPOS, A. T., CAMPOS, D. S., CAMPOS, A. T., PIRES, M. F. *Tratamento de águas residuárias em sistemas intensivo de produção de leite*. Circular Técnica, n. 75, EMBRAPA, Juiz de Fora, p. 1-5, 2003.
5. CAMPOS, A. T. *Tratamento de dejetos de bovinos de leite*. Embrapa Gado de Leite. Notícias. Juiz de Fora, 2008.
6. CHIZZOTTI, M. L.; LADEIRA, M. M.; MACHADO NETO, O. R.; LOPES, L. S. *Mitigação dos gases de efeito estufa na pecuária de corte*, 2012. Disponível em: <http://www.beefpoint.com.br/cadeia-produtiva/sustentabilidade/mitigacao-dos-gases-de-efeito-estufa-na-pecuaria-de-corte>.
7. CLANTON, C. J.; NICHOLS, D. A.; MOSER, R. L.; AMES, D. R. Swine manure characterization as affected by environmental temperature, dietary level intake, and dietary fat addition. *Transactions of the ASAE*, v. 34, n.5, p.2164-2170, 1991.
8. COLE, N. A.; TODD, R. W.; HALES, K. E.;

- PARKER, D. B. et al. Nutritional management of feedlot cattle optimize performance and minimize environmental impact. In: SIMPÓSIO DE PRODUÇÃO DE GADO DE CORTE, 8, e II SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE PRODUÇÃO DE GADO DE CORTE, Viçosa. *Anais...*, Viçosa, 2012.
9. DARTORA, V.; PERDOMO, C. C.; TUMELERO, I. L. *Manejo de dejetos de suínos*. EMBRAPA-EMATER, ano 7, n.11, 1998 (Boletim Informativo de Pesquisa).
  10. DEMARCHI, J. J. A. A.; BERNDT, A.; PRIMAVESI, O.; LIMA, M. A.; Emissões de gases de efeito estufa e práticas mitigadoras em ecossistemas agropecuários - bovinos de corte. *Pesquisa & Tecnologia*, v. 3, n. 1 Jan-Jun, 2006.
  11. ENSMINGER, M. E.; OLDFIELD, J. E.; HEINEMANN, W. W. *Feeds and nutrition*. 2. Ed. Clovis, Califórnia. The Ensminger Publishing Company, 1990. 1544p.
  12. FAO. Statistical Yearbook – *World food and agriculture*, Rome, 307 p, 2013.
  13. FONTES, C. A. A. et al. *Emissão de metano por bovinos de corte, suplementados ou não, em pastagem de capim mombaça (Panicum maximum cv. Mombaça)*. I-Perdas energéticas. In.: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 48. O Desenvolvimento da Produção Animal e a Responsabilidade Frente a Novos Desafios Belém – PA, 18 a 21 de julho de 2011.
  14. FREITAS, V. O.; ARALDI, D. F. *Impacto ambiental da emissão de gases pela pecuária*. In: SEMINÁRIO INTERINSTITUCIONAL DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO. XVI Mostra de Iniciação Científica e IX Mostra de Extensão, 2011.
  15. IMBEAH, M. Composting piggery waste: a review. *Bioresource Technology*, v.63, p.197-203, 1998.
  16. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE. Produção da Pecuária Municipal. 2011. Disponível em [ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao\\_Pecuaria/Producao\\_da\\_Pecuaria\\_Municipal/2011/ppm2011.pdf](ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Pecuaria/Producao_da_Pecuaria_Municipal/2011/ppm2011.pdf). Acesso em março de 2013.
  17. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC, 1996. *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reference Manual*.
  18. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC, 2007: *The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. [Solomon, S.; D. Qin, M. Manning, et.al.(eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996p., 2007.
  19. JONGBLOED, A. W.; LENIS, N. P.; MROZ, Z. Impact of nutrition on reduction of environmental pollution by pigs: an overview of recent research. *Vet. Quart.*, v.19, p.130-134, 1997.
  20. KONZEN, E. A. Manejo e utilização dos dejetos de suínos. Concórdia: EMBRAPA – CNPSA, 1983. 32p. (Circular técnica, 6).
  21. LEMA, J.M.; OMIL, F. Anaerobic treatment: a key technology for a sustainable management of wastes in Europe. *Water Science & Technology*, v. 44, n. 8, p. 133–140, 2001.
  22. LETTINGA, G. Digestion and degradation, air for life. *Water Science & Technology*, v. 44, n. 8, p. 157–176, 2001.
  23. LUCAS JR., J. *Algumas considerações sobre o uso do estrume de suínos como substrato para três sistemas de biodigestores anaeróbios*. Jaboticabal, 113p. Tese (Livre-Docência) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista., 1994.
  24. MASSÉ, D. I.; DROSTE, R. L. Comprehensive model of anaerobic digestion of swine manure slurry in a sequencing batch reactor. *Water Resource*, v. 34, n.12, p. 3087-3106, 2000.
  25. MORSE, D. et al. Production and characteristics of manure from lactating dairy cows in Florida. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v. 37, n. 1, p. 275-279, jan/feb, 1994.
  26. OLIVEIRA, P. A V. de. *Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos*. EMBRAPA-CNPSA, Documentos, 27, 1993.188 p.
  27. PEDREIRA, S.M.; PRIMAVESI, O. Impacto da produção animal sobre o ambiente. In: BERCHIELLI, T.T.; PIRES, A.V.; OLIVEIRA, S.G. (Eds.) *Nutrição de ruminantes*. 1.ed. Jaboticabal: Funep, 2006. p.497-511.
  28. PERDOMO, C. C.; LIMA, G. J. M. M. De; NONES, K. Produção de suínos e meio ambiente. In.: SEMINÁRIO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO DA SUINOCULTURA, 9. 2001, Gramado. *Anais...Concórdia: EMBRAPA Suínos e Aves*, 2001, p. 8-24.
  29. PORKWORL. Região Sul detém quase 50% do

- rebanho de suínos do Brasil, 2013. Disponível em: <http://www.porkworld.com.br/noticia/regiao-sul-detem-quase-50-do-rebanho-de-suinos-do-brasil>. Acesso em 18/07/2014.
30. RODRIGUES, L. S.; SILVA, I. J.; LOPES, B. C. Caracterização de águas residuárias em sistemas de produção animal. *Cadernos Técnicos de Veterinária e Zootecnia*, n. 66, ago., 2012, pág. 52-70.
31. SALMINEN, E. A.; RINTALA, J. A. Anaerobic digestion of organic solid poultry slaughterhouse waste – a review. *Bioresource Technology*, v.83, p.13-26, 2002.
32. SEIXAS, J.; FOLLE, S.; MARCHETTI, D. *Construção e funcionamento de biodigestores*. Brasília, EMBRAPA-CPAC, 1981. 60p. (EMBRAPA-CPAC. Circular Técnica, 4).
33. SERAFIM, R. S. *Produção e composição química da Brachiaria brizantha CV. Marandu adubada com água residuária de suinocultura*. Jaboticabal, 96p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, 2010.
34. VAN HORN, H. H., WILKIE, A. C. POWERS, W. J., NORDSTEDT, R. A. Components of dairy manure management systems. *J. Dai. Sci.* 77(7): 2008-2030, 1994.
35. VALENTE, B.S.; XAVIER, E.G.; MORSELLI, T.B.G.A.; JAHNKE, D.S.; BRUM JR, B.S.; CABRERA, B.R.; MORAES, P.O.; LOPES, D.C.N. Fatores que afetam o desenvolvimento da compostagem de resíduos orgânicos. *Arch. Zootec.* v.58, p.59-85. 2009.
36. WATTS, P. J; McGAHAN, E. J.; BONNER, S. L.; WIEDEMANN, S. G. Meat and Livestock Australia (MLA) - *Final Report. Literature Review - Feedlot Mass Balance*, 2011.
37. XAVIER, C.A.N.; LUCAS JÚNIOR, J.; TEIXEIRA JÚNIOR, D.J.; COSTA, L.V.C.; SILVA, A.A. Quantificação de dejetos de vacas em lactação confinadas recebendo diferentes volumes na dieta. In.: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DE ANIMAIS, 5, 2009, Florianópolis. *Anais...* Florianópolis, 2009, p. 589-594.
38. YANG, P. Y.; GAN, C. An on-farm swine waste management system in Hawaii. *Bioresource Technology*, v. 65, p.21-27, 1998.

# 7. Emissão de gases de efeito estufa pela pecuária e ação mitigadora da integração lavoura pecuária

Domingos Sávio Queiroz<sup>1,\*</sup>  
Maria Celuta Machado Viana<sup>2</sup>  
Regis Pereira Venturin<sup>3</sup>  
Edilane Aparecida Silva<sup>4</sup>  
Leonardo de Oliveira Fernandes<sup>5</sup>  
José Reinaldo Mendes Ruas<sup>6</sup>  
João Vitor Franco de Souza<sup>7</sup>

<sup>1</sup> Zootecnista Pesquisador da EPAMIG, Bolsista da FAPEMIG

\* Email para contato: [dqueiroz@epamig.br](mailto:dqueiroz@epamig.br)

<sup>2</sup> Eng<sup>a</sup>. Agrônoma, Pesquisadora da EPAMIG

<sup>3</sup> Eng. Agrônomo, Pesquisador da EPAMIG

<sup>4</sup> Zootecnista, Pesquisadora da EPAMIG

<sup>5</sup> Zootecnista, Pesquisador da EPAMIG

<sup>6</sup> Médico Veterinário, Pesquisador da EPAMIG

<sup>7</sup> Estudante de Zootecnia, Bolsista Iniciação Científica EPAMIG

## Introdução

Segundo a FAO, um dos maiores desafios para a humanidade será a produção de alimentos para fazer frente ao crescimento da população mundial nas próximas décadas. Estimativas feitas

*Maiores desafios para a humanidade será a produção de alimentos para fazer frente ao crescimento da população mundial nas próximas décadas.*

por essa instituição indicam um crescimento de 37% da população mundial nos próximos quarenta anos, quando atingiremos 9,6 bilhões de pessoas<sup>1</sup>. Para atender a esse crescimento, a produção mundial de alimentos precisará



ser duplicada. Estima-se que a demanda de carne e leite deve aumentar em 73% e 58%, respectivamente, com base nos níveis de 2010<sup>2</sup>. A elevação nos níveis de renda da população dos países em desenvolvimento faz com que haja uma alteração nos hábitos de consumo, em que produtos de origem animal, como carne e leite e seus derivados, passam a contribuir com maior quantidade na dieta. A nova ordem mundial sinaliza que esse crescimento deve levar em conta as questões de sustentabilidade e de conservação do meio ambiente. Para intensificar a produção de alimentos, fibras e energia renovável dentro dessa nova ordem, os sistemas de produção devem ser reformulados para aumentar a eficiência de produção e atender aos preceitos da proteção ecológica. Este artigo se propõe a trazer algumas informações sobre a tecnologia de integração lavoura-pecuária e de como ela poderá contribuir para aumentar a eficiência de produção e incluir elementos de conservação ambiental nos sistemas de produção da agropecuária do Brasil.

O agronegócio brasileiro vem passando por intensas transformações nos últimos anos. Alguns setores vêm experimentando forte expansão, como é o caso da produção de grãos e da bioenergia, com destaque especial para o etanol, biodiesel e bioquerosene. A utilização do milho para produção do etanol nos Estados Unidos e do óleo de soja para biodiesel no Brasil pressiona os preços e

a expansão dessas culturas. Isso implica mobilização de imensas áreas de terra para essas duas culturas e para a cana-de-açúcar. As espécies oleaginosas para a produção de biodiesel, embora em menor intensidade que a cana, também apresentam expansão da área cultivada. Outro setor do agronegócio que passa por forte expansão é o setor florestal, com foco nas cadeias do carvão e da celulose e, mais recentemente, do etanol da madeira. Considerando que o foco de todas essas transformações está concentrado nas regiões Sudeste e Centro-Oeste do Brasil, para onde vai desaguar a expansão dessas culturas em termos de terras ocupadas? Não há dúvida de que a expansão avançará em áreas ocupadas pela pecuária. Esse movimento já foi detectado pelas estatísticas. Os resultados do Censo Agropecuário de 2006<sup>3</sup> apontam que a área de lavouras no país aumentou 83,5% em relação ao Censo de 1995, enquanto a de pastagens reduziu-se em aproximadamente 3,0%, confirmando um modelo de desenvolvimento do setor com expansão das fronteiras agrícolas. Em relação ao censo de 1995, a área de pastagens reduziu de 178 milhões de hectares para 172 milhões em 2006, enquanto a área de culturas expandiu de 52 milhões para 76 milhões<sup>3</sup>. Em Minas Gerais esse mesmo fenômeno vem ocorrendo, com redução na área de pastagem de 25 milhões em 1995 para 20,5 milhões em 2006. Estima-se que no Brasil, nos próximos anos, cerca

de 30 milhões de hectares de pastagens serão ocupados pela agricultura, especialmente soja, milho, cana-de-açúcar e eucalipto.

Strassburg *et al.*<sup>4</sup> realizaram um estudo prospectivo para investigar se a melhoria na produtividade das pastagens cultivadas (115 milhões ha) liberaria terra suficiente para atender à produção de carne, lavouras, madeira e biocombustíveis, respeitando as limitações edafoclimáticas de cada região e incluindo os impactos previstos das mudanças climáticas. Tomando como base as produtividades atuais, eles concluíram que um aumento de 49 a 52% na capacidade de suporte das pastagens, mantendo-se as taxas atuais de crescimento de produtividade do rebanho, haveria terras suficientes para atender à demanda de lavoura e produtos florestais sem necessidade de conversão de nenhum ecossistema natural. Adotando-se sistemas integrados de produção, como sistema lavoura-pecuária, em que a terra fica

imobilizada 2/3 do tempo com lavoura e 1/3 com pecuária e silvipastoril, em que a população de árvores é reduzida, as projeções elevam a área necessária para atender à demanda, mas os dois setores, pecuária e lavouras, são atendidos (Tab. 1). Vale lembrar que a capacidade de suporte atual das pastagens no Brasil ainda é muito baixa e um aumento de 50% nessa capacidade pode ser obtido somente com melhorias no manejo das pastagens. Tomando-se como base um rebanho de 200 milhões de cabeças e a área de pastagens de 170 milhões de hectares, tem-se uma taxa de lotação de 1,18 animais/ha, considerando-se todas as faixas etárias do rebanho. Em unidades animais (UA=450 kg de peso vivo) por hectare, essa taxa de lotação é mais baixa.

## Pecuária bovina brasileira

O rebanho bovino brasileiro proporciona o desenvolvimento de dois segmentos lucrativos: as cadeias produ-

**Tabela 1. Área necessária para atender à demanda projetada de soja, milho, cana-de-açúcar e florestas plantadas até 2040. Soja e milho foram alocados em sistema lavoura-pecuária, cana-de-açúcar em áreas exclusivas e florestas plantadas em sistemas silvipastoris<sup>4</sup>**

Uso da terra	Área demandada (milhões ha)	Sistema cultivado	Área disponibilizada (milhões ha)
Soja	18.4	Lavoura-pecuária	28.0
Milho	1.3	Lavoura-pecuária	1.9
Cana-de-açúcar	6.1	Cana-de-açúcar (exclusiva)	6.1
Florestas plantadas	7.7	Silvipastoril	23.0
Total	33.5	Total	59.0

tivas da carne e leite. O valor bruto da produção desses dois segmentos, estimado em R\$ 67 bilhões, aliado à presença da atividade em todos os estados brasileiros, evidencia a importância econômica e social da bovinocultura em nosso país<sup>5</sup>.

Na pecuária de leite, o crescimento anual tem sido em torno de 4% ao ano, mas o MAPA prevê uma desaceleração desse crescimento para a próxima década, com uma taxa média de 1,9%, o que vai impactar a produção em 610 a 770 milhões de litros ao ano. Mantendo-se essas previsões, especula-se que a produção atinja 41,3 bilhões de litros em 2023. Com a produção atual em torno de 34 bilhões de litros, calcula-se que, nos próximos dez anos, o volume de leite brasileiro aumente sete bilhões de litros. Já o consumo de lácteos, segundo as projeções, deverá crescer a uma taxa média anual de 1,9%, acompanhando a produção nacional. Dessa forma, o Brasil continuará sendo importador. O volume previsto para as importações é equivalente a um bilhão de litros/ano. As projeções são de que, até 2023, a quantidade de leite aumente 20,7%; o consumo, 20,2%; as importações, 12%; e as exportações de produtos lácteos, 33,3%. O MAPA faz uma ressalva de que, se as políticas públicas específicas para o setor forem implantadas e produzirem o resultado esperado, como o Programa Mais Leite, a quantidade de leite produzida será maior e, portanto,

deverá ocorrer menor importação e maior exportação.

No caso da pecuária bovina de corte do Brasil, reconhece-se que é uma das mais competitivas do mundo. Nos últimos 30 anos, a taxa de abate da bovinocultura de corte passou de 12% ao ano para em torno de 22% nos últimos anos. A bovinocultura é um dos principais destaques do agronegócio brasileiro no cenário mundial. O Brasil é dono do segundo maior rebanho do mundo, mas, com objetivo comercial, é o maior rebanho do mundo, com cerca de 200 milhões de cabeças. Além disso, desde 2004, assumiu a liderança nas exportações, com um quinto da carne comercializada internacionalmente e vendas em mais de 180 países. A produção brasileira de carne bovina cresceu 62% nos últimos 20 anos, chegando a 9,3 milhões de toneladas em 2012, ocupando o segundo lugar no *ranking* dos países produtores, atrás apenas dos EUA, com 12,04 milhões de toneladas. São três os fatores principais que justificam o aumento da produção de carne no Brasil: o crescente volume de exportações; o aumento da demanda interna, impulsionada pelo crescimento da economia; e o maior poder aquisitivo da população, que tende a aumentar o consumo de proteína animal. O país se manteve na liderança do mercado de carne bovina mundial ao bater novo recorde de exportações para o primeiro semestre de 2014, atingindo

um faturamento de US\$ 3,404 bilhões e volume negociado de 762 mil toneladas. É o maior faturamento da história já registrado em um primeiro semestre. Os números são 13,3% (faturamento) e 12,7% (volume) superiores aos registrados no mesmo período do ano passado – faturamento de US\$ 3,004 bilhões e volume exportado de 675,7 mil toneladas<sup>6</sup>.

Apesar dos avanços que o Brasil vem apresentando na pecuária, a produtividade ainda é muito baixa. A criação de bovinos é feita em bases empíricas, caracterizando a atividade, na maioria das propriedades, como extrativista, particularmente em relação ao uso do pasto. Nesse aspecto, os pecuaristas não se apropriaram das tecnologias disponíveis, como tem ocorrido na agricultura. E não é por falta de tecnologia que isso ocorre, pois o Brasil dispõe de bom número de pesquisadores nos diversos biomas brasileiros e de bom volume de pesquisas em produção de bovinos. Prova disso é que se encontram nichos de criação, tanto de gado de corte quanto de leite, que aplicam altíssimos níveis de tecnologia, com produtividade equivalente à de países desenvolvidos.

*A criação de bovinos é feita em bases empíricas, caracterizando a atividade, na maioria das propriedades, como extrativista, particularmente em relação ao uso do pasto.*

## Emissão de gases de efeito estufa (GEE) pela pecuária

Recentemente o IPCC publicou o relatório com o total de emissão dos GEE decorrentes das ações antropogênicas no período de 1970 a 2010 (Fig. 1). O total emitido no mundo em 2010 alcançou 49 Gt CO<sub>2</sub> eq./ano<sup>7</sup>. Apesar do investimento nas políticas de mitigação das mudanças climáticas, as emissões continuaram a crescer. O IPCC alerta que o ritmo de crescimento anual na década 2000-2010 (2,2%) foi maior que nas décadas anteriores de 1970-2000 (1,3%). O total de CO<sub>2</sub> relacionado aos combustíveis fósseis representou a maior contribuição e, do ponto de vista percentual, cresceu nos últimos 40 anos de 55% para 65%. Com origem no metano, a contribuição é de 16% do CO<sub>2</sub> equivalente, mas a contribuição percentual reduziu de 19% para 16% entre 1970 e 2010, indicando que essa fonte de gases cresceu menos que as outras fontes. A mesma tendência seguem os gases oriundos de queima de florestas, turfas e outros usos do solo (FOLU), com forte declínio no percentual de contribuição, de 17% para 11%. Isso se deve grandemente ao decréscimo nas taxas de desmatamento e aumento

do plantio de florestas cultivadas. A atividade agropecuária, ao lado da atividade florestal, pode exercer importante papel nas políticas de mitigação dos GEE, ao reduzir o desmatamento, implantar áreas florestais e melhorar o manejo dos cultivos e áreas de pastagem e na restauração de solos orgânicos.

Das emissões apresentadas na Figura 1, pode-se atribuir parte dos gases gerados na forma de  $N_2O$  e  $CH_4$  à atividade pecuária, associadas ao manejo de dejetos e ao metano entérico. Se incluirmos toda a cadeia de produção, parte dos combustíveis fósseis e

*O setor pecuário mundial apresenta emissões estimadas em 7,1 Gt  $CO_2$  eq./ano, representando 14,5% das emissões de GEE induzidas pelo homem.*

processos industriais se devem à cadeia de suprimentos e produção de concentrados e volumosos para alimentar os animais, parte para o processamento e distribuição dos produtos oriundos da cadeia. Até

mesmo parte dos gases relacionados à derrubada e queima da floresta e do uso do solo se deve à expansão da atividade pecuária, mas as pressões da sociedade e da fiscalização pelo poder público vêm reduzindo essas contribuições.

Segundo a FAO<sup>2</sup>, o setor pecuário mundial apresenta emissões estimadas em 7,1 Gt  $CO_2$  eq./ano, representando 14,5% das emissões de GEE induzidas

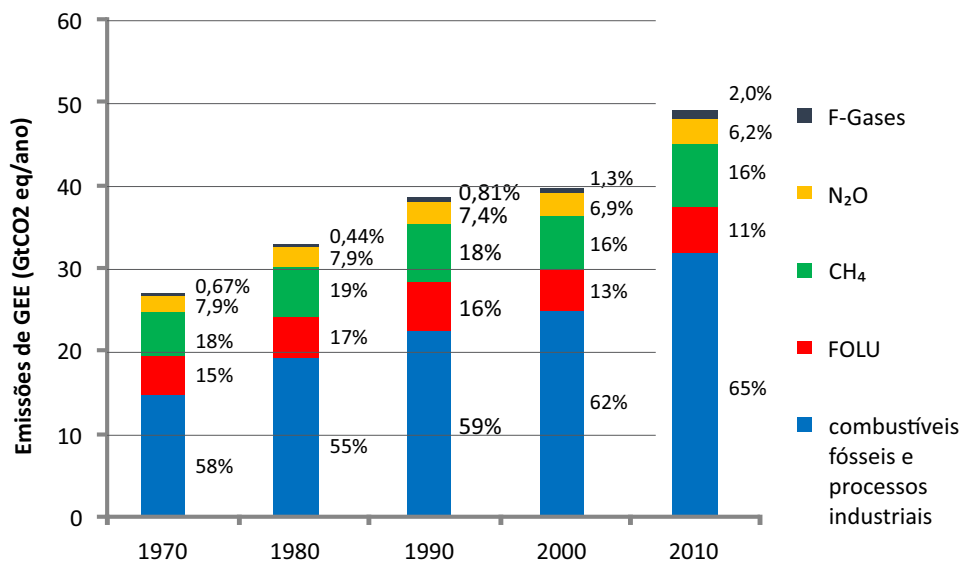


Figura 1. Total anual de emissões antropogênicas de GEE entre 1970 a 2010 (Gt  $CO_2$  eq./ano), no ano de completar a década, e o percentual de contribuição de cada grupo de gases no interior das barras (F-Gases = gases fluorados, FOLU =  $CO_2$  oriundo de florestas e outros usos do solo). (Adaptado.)<sup>7</sup>

pelo homem. A produção e o processamento de alimentos para os animais respondem por 41% das emissões do setor pecuário, o metano entérico, por 39%, estocagem e manejo de dejetos, por 10%, sendo o restante devido ao processamento e transporte de produtos animais. A produção de carne bovina contribui com 41% desse total, enquanto a produção de leite de vaca contribui com 20% das emissões do setor. A produção de carne suína contribui com 9%, e a produção de carne de aves e de ovos contribui com 8%. Considerando-se apenas o metano entérico, colocado pela mídia como o vilão da pecuária bovina, observa-se que a contribuição não é tão alarmante, estimada em 39% das emissões do setor pecuário, o que equivale a 2,77 Gt CO<sub>2</sub>

*No Brasil, houve emissão de 1,25 Gt CO<sub>2</sub> eq.<sup>8</sup>, o que representa 2,5% do total mundial.*

eq./ano ou 5,65% do total das emissões.

No Brasil, tomando como base os dados de 2010, houve emissão de 1,25 Gt CO<sub>2</sub> eq.<sup>8</sup>, o que representa 2,5% do total mundial relativamente aos dados mundiais de 49 Gt CO<sub>2</sub> eq./ano, apresentados pelo IPCC<sup>7</sup>. Observa-se forte oscilação nas emissões brasileiras, associadas principalmente ao uso da terra e florestas (Fig. 2). Esse efeito decorre das ações de controle de desmatamentos e queimadas conduzidos na região Norte do Brasil. Sinaliza que o Brasil pode exercer intenso controle no fluxo de emissões de GEE apenas com ações de combate ao desmatamento, conforme sinalizado na Figura 2. Somente nos últimos cinco anos a redução de emissões nesse setor foi de 76,0%. Os

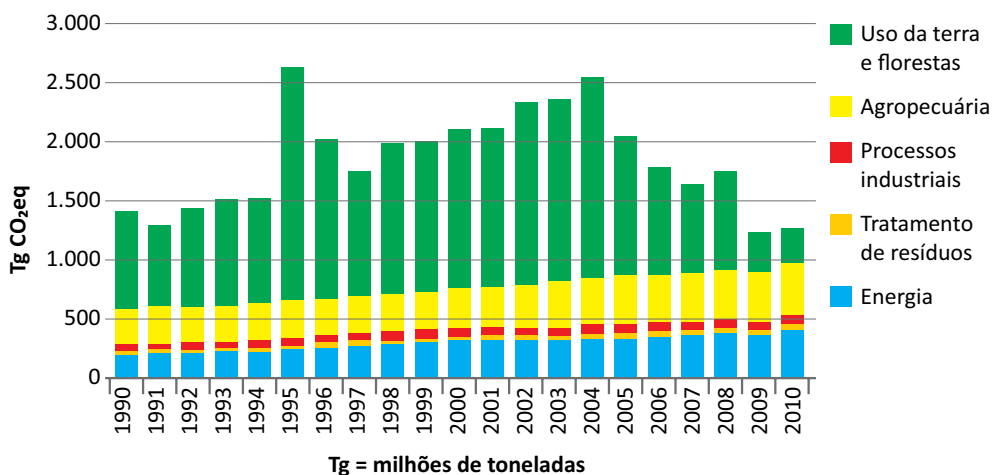


Figura 2. Emissões brasileiras de gases de efeito estufa no período de 1990 a 2010 em eq. CO<sub>2</sub><sup>8</sup>.

demais setores mantêm uma trajetória de crescimento ao longo dos últimos 20 anos. Analisando o crescimento das emissões por setor nos últimos cinco anos, o setor de energia aumentou 21,4%, o de resíduos, 16,4%, os processos industriais, 5,3%, e a agropecuária, 5,2%<sup>8</sup>. Novamente sinaliza que a agropecuária não é o vilão apregoado pela mídia, pois as emissões cresceram menos que os demais setores, embora represente 35% do total emitido pelo Brasil.

Focando o setor pecuário, segundo os dados do MCTI<sup>8</sup> em 2010, a agropecuária apresentou emissões de 0,44 Gt CO<sub>2</sub> eq./ano. Desse total, 0,25 Gt CO<sub>2</sub> eq./ano refere-se à fermentação entérica, ou 56,4% do setor agropecuário. Solos agrícolas contribuem com 35,2%, e dejetos animais, com 4,9%, ficando mais 3,5% com a cultura do arroz e queima de cana-de-açúcar. Gado de corte representa 75% do metano entérico do setor agropecuário e gado de leite, outros 12%, totalizando 87% do metano entérico para os bovinos, ou 0,22 Gt CO<sub>2</sub> eq./ano, restando 0,03 Gt CO<sub>2</sub> eq./ano para as demais criações (caprinos e ovinos, principalmente). A pecuária bovina representou 17,4% das emissões de GEE do Brasil na forma de metano entérico em 2010.

*A pecuária bovina representou 17,4% das emissões de GEE do Brasil na forma de metano entérico, mas não é a principal fonte de emissões no país.*

É importante? Sim, mas não é a principal fonte de emissões no país e não merece a fama que lhe é atribuída pela mídia de um modo geral. Por exemplo, a queima de combustível representou 30% das emissões de GEE do Brasil em 2010.

Entretanto, apesar de o setor da pecuária bovina contribuir com uma parcela significativa das emissões antrópicas de GEE no Brasil, também pode contribuir com uma parte significativa do esforço de mitigação necessário. O uso de alimentos de melhor qualidade e o balanceamento da dieta podem

contribuir para reduzir o metano entérico e emissões de gases dos dejetos. O manejo e a disposição dos dejetos podem assegurar a recuperação e a reciclagem dos nutrientes, contribuindo para a mitigação. As pasta-

gens podem fixar quantidade considerável de carbono. Outras tecnologias que podem contribuir para a redução da produção de metano entérico, tais como os aditivos de alimentos, tais como substâncias halogênicas, ionóforos, leveduras, nitrato, taninos, saponinas, lipídeos, vacinas, ainda carecem de mais estudos e apresentam limitações para sua aplicação em animais criados em pasto, que é a principal forma de exploração da pecuária bovina no Brasil.

A chave para a redução das emissões de GEE no Brasil pela pecuária bovina está no aumento da produtividade. Para aumentar o desempenho animal, aumenta-se o consumo de alimentos e a produção de dejetos (fezes e urina), consequentemente emite-se mais GEE, só que, quando se converte a emissão por produto animal, animais mais produtivos emitem menos que animais menos produtivos. Nesse aspecto, o Brasil tem um longo caminho a percorrer, pois as produtividades ainda são muito baixas. Como o principal sistema de criação de bovinos é em pastagem, o uso de técnicas para intervir no processo de digestão, tais como aditivos aos alimentos, não é o mais importante, pois sua administração em animais soltos no pasto é muito difícil, principalmente no caso da pecuária de corte. Para vacas de leite que são alimentadas no momento da ordenha, fica mais fácil, ou para animais de corte em confinamento, mas essa prática ainda é pequena no Brasil e somente em parte da vida o animal é mantido preso. Vale lembrar que os bovinos de corte representam 75% do metano entérico emitido pela pecuária bovina.

Segundo o documento da FAO<sup>2</sup>, tecnologias e práticas que podem ajudar a reduzir as emissões existem, mas não são amplamente usadas. A intensidade

*A chave para a redução das emissões de GEE no Brasil pela pecuária bovina está no aumento da produtividade.*

das emissões por unidade de produto animal (kg CO<sub>2</sub>/kg de carne ou L de leite) varia grandemente entre os produtores em função da tecnologia e dos insumos empregados nos sistemas de produção. Gerber *et al.*<sup>9</sup> compilaram dados de produção de leite de 178 países e mostraram o impacto que ações de melhoria na produtividade de leite podem ter sobre a emissões de GEE por quilo de produto obtido (Fig 3). Tomando-se o caso do Brasil, cuja produtividade média está em torno de 1.400 kg de leite/[vaca.ano](#)<sup>10</sup>, pode-se reduzir as emissões

por kg de leite produzido pela metade se dobrarmos nossa produtividade para em torno de 3.000 kg/[vaca.ano](#). Práticas simples, como o uso de animais mestiços, pastos com boa oferta de forragem e pequeno fornecimento de concentrados garantem esse patamar de produção. Ruas *et al.*<sup>11</sup>, analisando 867 lactações de vacas mestiças meio-sangue holandês/gir na Fazenda Experimental de Felixlândia, da EPAMIG, durante 10 anos, obtiveram uma média de produção de 3.587 kg de leite/lactação. A alimentação das vacas consistia em pasto de capim braquiária no verão e silagem de milho ou cana-de-açúcar+ureia no período seco. Além da alimentação volumosa, as vacas eram suplementadas com concentrado numa relação média de 0,33 kg /kg de leite produzido. Nesse



patamar de produção, as emissões de GEE por kg de leite produzido ficariam abaixo de 2 kg CO<sub>2</sub> eq/kg de leite, segundo a análise de Gerber *et al.*<sup>9</sup>, valor muito próximo daquele obtido com vacas de alta produção, em torno de 7.000 a 9.000 kg/ano (Fig. 3).

No caso da pecuária de corte, os efeitos da produtividade sobre as emissões de GEE também são muito relevantes. Ruiviaro *et al.*<sup>12</sup> conduziram um estudo no sul do Brasil com sete sistemas de criação de bovinos abor-deen angus de corte, do nascimento ao peso de abate (430 kg de peso vivo): pastagem natural (PN), pastagem natural melhorada (PNM), PN+azevém, PNM+sorgo, pasto cultivado de azevém+sorgo, PN+sal proteinado e

PN+sal proteinado+energia (Tab. 2). O tempo necessário do nascimento ao peso de abate variou de 840 dias (pastro natural) a 485 dias (PNM+sorgo). A capacidade de suporte variou de 930 kg PV/ha (azevém+sorgo) a 397 kg PV/ha (PN). Esses ganhos de produtividade refletiram fortemente nas emissões médias calculadas, que variaram de 20 kg CO<sub>2</sub> eq./kg de ganho de peso vivo no pasto cultivado de azevém+sorgo a 42,6 kg CO<sub>2</sub> eq./kg de ganho de peso vivo no PN, uma redução de mais de 50% nas emissões com a redução no tempo necessário para atingir o peso de abate.

Vislumbrando os efeitos da melhoria da produtividade agropecuária na emissão dos GEE, o Brasil assumiu, em 2009, na 15<sup>a</sup> Conferência das Partes

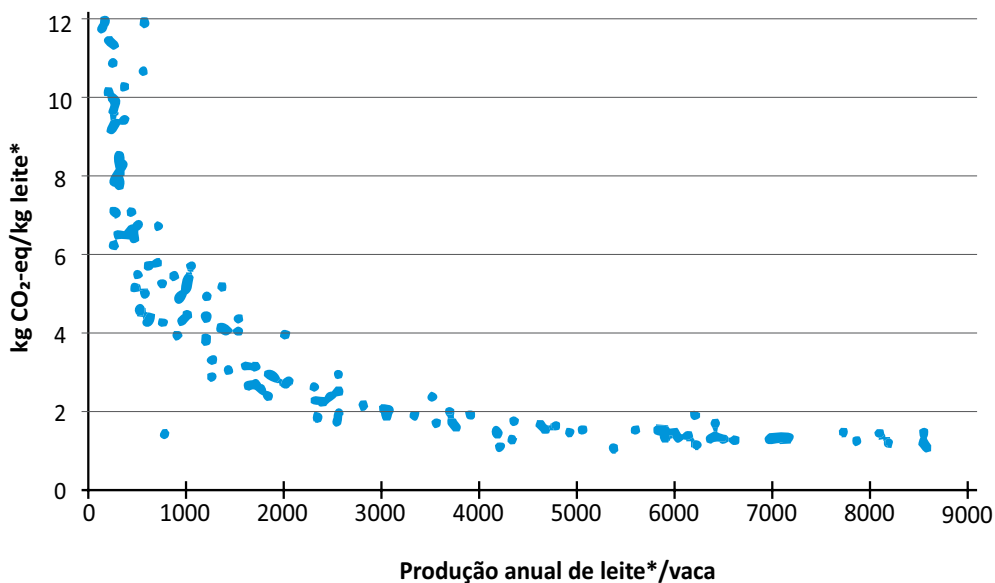


Figura 3 - Relação entre emissão de gases (kg de CO<sub>2</sub> equivalente) por kg de leite de vaca de acordo com o nível de produção (\*corrigido para teor de proteína - 3,3% e gordura - 4,0%) (média de 178 países analisados)<sup>9</sup>.

**Tabela 2. Resumo das emissões calculadas em equivalente CO<sub>2</sub> do nascimento ao peso de abate, durante as várias fases de crescimento dos animais em cada sistema de criação<sup>12</sup>**

Sistemas	CO <sub>2</sub> equivalente, kg CO <sub>2</sub> eq./kg de ganho de peso vivo				
	Mínimo	Média	Máximo	Desvio padrão	Período (dias)
Pasto natural (PN)	39,3	42,6	46,5	1,79	840
PN melhorado (PNM)	18,7	20,2	22,0	0,85	510
PN+azevém	27,2	29,6	32,6	1,42	669
PNM+sorgo	21,1	23,4	25,4	1,04	485
Azevém+sorgo	18,3	20,0	21,8	0,91	502
PN+suplementação <sup>1</sup>	30,6	33,3	36,6	1,56	660
PN+suplementação <sup>2</sup>	21,1	23,4	26,1	1,26	510

<sup>1</sup>Suplementação com proteína e sal mineral

<sup>2</sup>Suplementação com proteína, energia e sal mineral

(COP-15), o compromisso de reduzir suas emissões de GEE de 36,1% a 38,9% em relação ao que emitiria em 2020 caso nada fosse feito. A parte correspondente ao setor agropecuário foi a de eliminar do total da sua projeção de emissões algo entre 133 a 166 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente, ao mesmo tempo em que propôs reduzir o desmatamento na Amazônia em 80%, também até 2020. Ações governamentais estão sendo conduzidas na tentativa de amenizar os efeitos adversos decorrentes do processo de mudança do uso e cobertura das terras, os quais têm colocado a agricultura brasileira como um dos principais

*Brasil lançou o programa “Agricultura de Baixo Carbono – Programa ABC” como um dos eixos para atender aos compromissos de redução da emissão de carbono, o qual prevê a recuperação de 50 milhões de hectares de áreas degradadas no meio rural até 2020.*

responsáveis pela emissão dos GEE da mudança do clima. Dentre esses esforços, destaca-se a Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009, que trata da Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), e o recente plano setorial de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas visando à consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na agricultura.

Recentemente o Brasil lançou o programa “Agricultura de Baixo Carbono – Programa ABC”<sup>13</sup> como um dos eixos para atender aos compromissos de redução da emissão de carbono, o qual prevê a recuperação de 50 milhões de hectares de

áreas degradadas no meio rural até 2020. São sete programas distintos, com destaque especial para aquele voltado à recuperação de pastagens degradadas, que sozinho é capaz de trazer mais de 60% das reduções prometidas.

O Programa ABC objetiva compatibilizar a produção de alimentos e de bioenergia com redução dos gases de efeito estufa, com foco na integração lavoura-pecuária-floresta, plantio de florestas comerciais, recuperação de pastagens degradadas, plantio direto na palha, fixação biológica de nitrogênio e tratamento de resíduos animais.

## Situação das pastagens

O clima tropical e a extensão territorial do Brasil contribuem para a destacada produção de bovinos de corte e de leite, criados em sua maioria em pastagens. Atualmente ainda se verifica aumento do efetivo bovino, que alcança 211 milhões de cabeças<sup>10</sup>. Entretanto, paralelamente a esse processo de expansão da pecuária, observa-se uma redução na área de pastagens. Isso significa que houve melhoria da produtividade animal, mas também da taxa de lotação dos pastos. É provável que a redução nas áreas de pastagens continue, podendo até mesmo se intensificar, já que as pressões da sociedade para redu-

*O Programa ABC objetiva compatibilizar a produção de alimentos e de bioenergia com redução dos gases de efeito estufa, com foco na integração lavoura-pecuária-floresta.*

zir o desmatamento e a incorporação de novas áreas são muito grandes e a expansão das áreas de lavouras deve continuar. Nessa situação, a intensificação do uso dos pastos e a utilização de insumos para aumentar a produtividade

serão inevitáveis. A pergunta é: O Brasil dispõe de tecnologias para responder a essa demanda no aumento da produtividade? Não há dúvida de que sim. A exploração de pastagens é feita em bases empíricas, caracterizando a atividade, na maioria das propriedades, como extrativista, em que quase nenhum insumo é utilizado.

Corroborando a débil aplicação de tecnologias na exploração de pastagens a ocorrência de degradação até os dias atuais. Alguns pesquisadores estimam que até 80% das áreas de pasto, principalmente no bioma cerrado, encontram-se degradados ou em processo de degradação. Na Zona da Mata de Minas Gerais, um estudo foi conduzido com o objetivo de identificar os níveis de degradação das pastagens<sup>14</sup>. Da área de 3.670 ha avaliada, aproximadamente 70% correspondem a pastagens. De acordo com os resultados, as pastagens com nível de degradação moderado, forte e muito forte ocupam 8,21%, 56,46% e 5,07% da área, respectivamente. Quase 70% das áreas de pasto apre-

sentaram sinais de degradação. As áreas com nível de degradação forte e muito forte ocorrem predominantemente em áreas de relevo forte ondulado, e, em situações mais graves, já se observa perda acentuada de solo.

Como o processo de degradação é contínuo, é inevitável que em algum momento se faça a recuperação dessas áreas. Isso faz com que milhões de hectares de pastagens sejam formados anualmente no Brasil e realçam uma pujante indústria de produção de sementes de forrageiras, de alto nível tecnológico, para atender a essa demanda e que hoje já é exportadora de sementes. A recuperação de pastagens degradadas permite diversas abordagens, dependendo da condição do produtor e de seus interesses em relação ao uso do pasto. Entende-se por recuperação direta de pastagens as práticas que não fazem uso de uma cultura associada. As operações são feitas diretamente nos pastos e podem incluir ações mecânicas, tais como aração, gradagem, subsolagem e escarificação ou ações químicas, como a calagem, gessagem e adubações parciais ou completas. Pode-se incluir a manutenção da espécie anterior (sem alterar a vegetação), manter a espécie anterior introduzindo nova(s) espécie(s), como, por exemplo, uma leguminosa (alteração parcial da vegetação) ou fazer a substituição por outra espécie ou cultivar forrageira (com alteração total da vegetação).

O desenvolvimento da tecnologia

de integração lavoura-pecuária (ILP) trouxe novo impacto para o processo de renovação dos pastos, pela possibilidade de custear total ou parcialmente o gasto necessário. A ILP não é nova no Brasil e foi praticada desde a década de 70, na abertura do cerrado e no bioma Amazônia, com a cultura do arroz. A novidade atual é a possibilidade de utilizar diversas culturas, técnicas de cultivo mínimo e manipular doses e épocas de fertilização do solo. A ILP com foco na exploração da atividade pecuária aproveitou-se parcialmente do grande desenvolvimento tecnológico do plantio direto no Brasil, em muitos casos utilizando gramíneas forrageiras tropicais para a formação da cobertura vegetal junto ou em sucessão à lavoura.

## **Integração lavoura-pecuária na recuperação de pastagens**

Os sistemas integrados de produção agrícola e pecuária são caracterizados por sistemas planejados para explorar sinergismos e propriedades emergentes frutos de interações nos compartimentos solo-planta-animal-atmosfera de áreas que integram atividades de produção agrícola e pecuária<sup>15</sup>. São interações planejadas em diferentes escalas espaço-temporais que abrangem a exploração de cultivos agrícolas e produção animal na mesma área, de forma concomitante ou sequencial, entre áreas distintas ou em sucessão.

A integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) é definida como “uma estratégia de produção sustentável que integra atividades agrícolas, pecuárias e florestais realizadas na mesma área, em cultivo consorciado, em sucessão ou rotação”<sup>16</sup>. Os efeitos sinérgicos entre os componentes incluem a adequação ambiental e a viabilidade econômica da atividade agropecuária. Pode-se utilizar a ILPF para implantar um sistema agrícola sustentável, com base nos princípios da rotação de culturas e do consórcio entre culturas de grãos, forrageiras e espécies arbóreas, para produzir, na mesma área, grãos, carne ou leite e produtos madeiros e não madeiros ao longo de todo o ano.

A busca de alternativas de produção agropecuária econômica, social e ecologicamente sustentável, fundamentada em tecnologias não agressivas ao meio ambiente, tem apontado o desenvolvimento de sistemas integrados como alternativa mais adequada de exploração agropecuária, uma vez que combina árvores, culturas e animais em um conceito de imitação dos ecossistemas naturais. Há inúmeros casos de sucesso na formação do pasto pelo Brasil afora, com a vantagem de que a integração com lavoura amortiza total

*A integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) é definida como “uma estratégia de produção sustentável que integra atividades agrícolas, pecuárias e florestais realizadas na mesma área, em cultivo consorciado, em sucessão ou rotação”.*

ou parcialmente o custo de formação do pasto<sup>17</sup>. Apresenta o inconveniente de exigir do pecuarista treinamento e maquinário para o cultivo da lavoura. Quando o pecuarista não tem as condições exigidas, parcerias podem ser feitas com agricultores, cuja negociação pode incluir o pasto formado após a

colheita da lavoura. Os ganhos em produtividade obtidos pelo melhoramento do pasto com o uso ou não da ILP podem ser visualizados na Tabela 3.

As propostas mais recentes incluem a introdução de fileiras de eucalipto junto com a lavoura e o pasto. Após a colheita da lavoura, tem-se o pasto formado e a espécie florestal em crescimento. No caso da introdução de espécies florestais, pode ser necessário esperar maior para iniciar o pastejo, assegurando que os animais não danifiquem as árvores. Nesse contexto, a ILPF promove o incremento no estoque de carbono e reduz os impactos negativos decorrentes da emissão dos gases do efeito estufa. Comparativamente às pastagens tradicionais, aos monocultivos florestais e agrícolas, a ILPF possui alta capacidade de fixação de carbono, pelo fato de serem formados por diferentes componentes e de se beneficiarem das interações entre estes. Portanto, a utilização

**Tabela 3. Ganho médio de peso anual ao longo de 11 anos em diversos sistemas de exploração, em região de cerrado, no município de Campo Grande-MS<sup>18</sup>**

Sistema	Ganho de peso (kg/ha.ano)
Pasto degradado de <i>Urocloa decumbens</i> ( <i>U.d.</i> = <i>Brachiaria decumbens</i> )	141
Pasto recuperado de <i>U.d.</i> sem adubação de manutenção	328
Pasto recuperado de <i>U.d.</i> com adubação de manutenção	381
Rotação: 4 anos de lavoura seguidos de 4 anos de pasto <sup>1</sup>	495
Rotação: 1 ano de lavoura seguido de 3 anos de pasto <sup>2</sup>	518

<sup>1</sup>Pasto de *Panicum maximum* cv. Tanzânia (média dos anos com pasto) e <sup>2</sup>pasto de *U. brizantha* cv Marandu (média dos anos com pasto).

desse sistema é uma alternativa das mais promissoras e sustentáveis para recuperação de áreas degradadas tanto de pasto quanto de culturas, considerando seu reduzido custo ambiental, além de ser economicamente viável em várias regiões do Brasil.

Esse sistema difere daquele que vem sendo aplicado e difundido por algumas empresas da área florestal, em que o pasto é introduzido no segundo ano, após dois cultivos de lavoura (normalmente arroz e soja). Os estudos com a implantação simultânea da lavoura, do pasto e da espécie florestal não geraram uma recomendação tecnológica bem consolidada ainda e diversas recomendações são encontradas na literatura. No caso da introdução do pasto após dois anos do plantio do

eucalipto, como é praticado por empresas da área florestal, existem muitos estudos e a tecnologia já está bem consolidada. Normalmente o arroz é plantado por ocasião do plantio do eucalipto, e a soja, no ano agrícola seguinte, com a formação do pasto nas entrelinhas do eucalipto com dois anos de idade e de porte suficiente para conviver com o pastejo<sup>19</sup>.

## Fixação de carbono em sistemas integrados

Não é possível falar em manejo da pastagem para melhorar o desempenho animal quando se tem pastagens de qualidade muito baixa. A primeira ação para aumentar a produtividade de animais em pastejo é ofertar forragem com

*A primeira ação para aumentar a produtividade de animais em pastejo é ofertar forragem com quantidade e qualidade. Para isso, a recuperação do pasto degradado é essencial.*

quantidade e qualidade. Para isso, a recuperação do pasto degradado é essencial. A introdução da ILP ou da ILPF em áreas de pasto degradado tem este propósito: recuperar a produtividade do pasto pelo aproveitamento dos resíduos de fertilizante deixados pela lavoura, custear o processo de recuperação do pasto e atender aos objetivos de produção de grãos pela lavoura associada.

Dentro dessa nova visão que o aquecimento global trouxe para a atividade agropecuária, outro benefício pode ser contabilizado na utilização da ILP ou ILPF, o aumento dos estoques de carbono no solo. Nesse aspecto, pode-se considerar o pasto como um sistema conservador, pois, independentemente da forma como ele foi recuperado, há um grande retorno de

biomassa para o solo, oriundo da forragem não consumida pelos animais. Mesmo em sistemas intensivos, com utilização de pastejo rotacionado, em que a eficiência de colheita é alta, pelo menos 30% da forragem produzida é “perdida” para o solo. Pode-se ver na Figura 4 a intensa redução da eficiência de pastejo com o aumento da oferta de forragem de 5% para 20% em sistema de pastejo rotacionado<sup>20</sup>. A oferta refere-se à quantidade de forragem, em kg de massa de forragem seca disponível no pasto para cada 100 kg de peso vivo animal. Mesmo na menor oferta de forragem, de 5 kg de massa de forragem seca para cada 100 kg de peso vivo, pouco mais de 60% da forragem disponível foram colhidos pelos animais. A elevação da oferta para 20% fez com que os animais deixassem

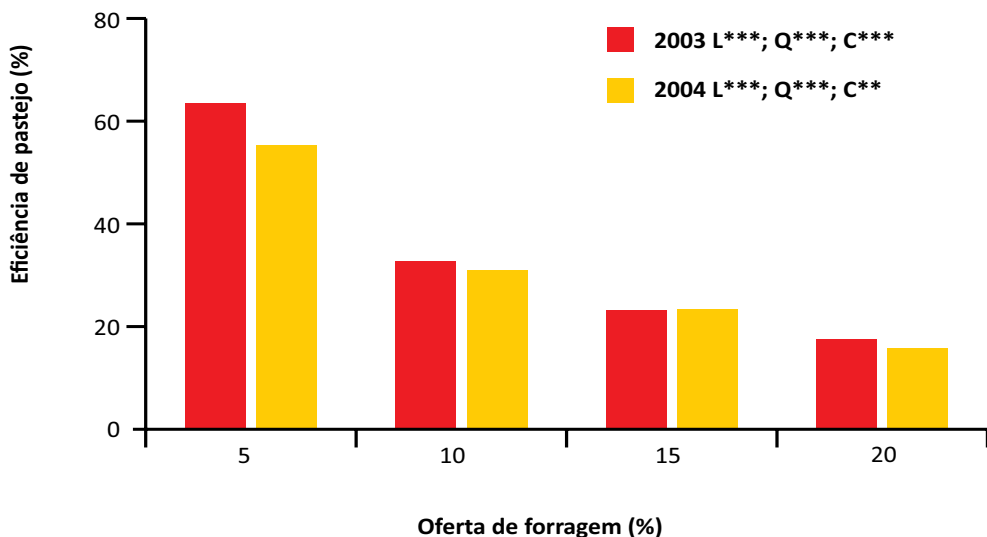


Figura 4. Eficiência de pastejo em pastagens de capim-marandú em resposta à oferta de forragem nos anos de 2003 e 2004. As barras verticais correspondem ao erro padrão da média<sup>20</sup>.

mais de 80% da forragem disponível ao saírem dos piquetes para o descanso do pasto. Grande parte das folhas não consumidas morrerá e não será mais pastejada no ciclo seguinte, retornando ao solo para decomposição. O ciclo de renovação dos perfilhos faz com que os colmos não consumidos morram e também retornem ao solo para decomposição. Pode-se avaliar por aí o potencial de incorporação de carbono ao solo em pastagens produtivas.

Esse não é o caso de pastagens degradadas, normalmente superpastejadas, em que pouca biomassa retorna ao solo. Nesse caso a incorporação de carbono ao solo pode ser menor que as perdas, resultando em balanço negativo, com liberação de carbono para a atmosfera. Mesmo com o uso de sistemas integrados, dependendo da intensidade de pastejo, o sistema pode agir como fonte ou sumidouro de carbono atmosférico. Silva *et al.*<sup>21</sup> estudaram

um sistema de integração com soja no verão e pasto de azevém+aveia preta no inverno, durante 10 anos, no Rio Grande do Sul. Durante o período de pastejo, no inverno, o pasto era submetido a pastejo com lotação contínua e mantido nas alturas de 10, 20, 30 e 40 cm. O balanço de carbono foi negativo com o pastejo a 10 cm e positivo e crescente nas alturas de 20 a 40 cm (Tab. 4). Nesse caso do pastejo a 10 cm, a sobra de forragem não consumida pelo gado não foi suficiente para manter o balanço de carbono positivo. Deve-se levar em conta que o trabalho foi conduzido com forrageiras temperadas de alto valor nutritivo, cuja perda de forragem é bem menor que quando se usa forrageiras tropicais, de maior potencial de produção e mais baixo valor nutritivo.

Diversos estudos na literatura comparam os estoques de carbono no solo de áreas de pastagem em relação a áreas

**Tabela 4. Balanço de carbono do solo em diferentes alturas de pastejo na camada de 0-20 cm de profundidade<sup>21</sup>**

Intensidade de pastejo (m)	Entrada de carbono <sup>1</sup>	Estoque de carbono	Balanço de carbono
	Mg/ha		
0,10*	2,54d	44,08a	-0,04d
0,20	3,21c	46,60a	0,06c
0,30	4,06b	45,00a	0,25b
0,40	4,80a	46,51a	0,37a

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey (p<0,05).

\*Altura do pasto. <sup>1</sup>Entrada anual: azevém consorciado com aveia preta no inverno + soja no verão.



de vegetação nativa. De modo geral, esses estudos mostram que pastagens bem manejadas podem acumular carbono em níveis semelhantes ou mesmo superiores aos da vegetação nativa do bioma.

*Estudos mostram que pastagens bem manejadas podem acumular carbono em níveis semelhantes ou mesmo superiores aos da vegetação nativa do bioma.*

sistemas com pastagem permanente, enquanto os menores valores ocorrem nos sistemas com lavouras, e os valores intermediários, nos sistemas com integração lavoura-pastagem.

Outra possibilidade é a implantação

de sistemas agrossilvipastoris em que o componente arbóreo arbustivo seja constituído por espécies oleaginosas. A demanda por biocombustíveis é muito grande, pois a queima de combustíveis fósseis é a principal responsável pelas emissões de GEE no mundo, e esse setor quer melhorar sua imagem na sociedade, mirando no uso de combustíveis renováveis. Essa opção, além de contribuir para evitar a degradação das pastagens, irá proporcionar produção de matéria-prima para a indústria de óleos vegetais, com particular interesse para

de sistemas agrossilvipastoris em que o componente arbóreo arbustivo seja constituído por espécies oleaginosas. A demanda por biocombustíveis é muito grande, pois a queima de combustíveis fósseis é a principal responsável pelas emissões de GEE no mundo, e esse setor quer melhorar sua imagem na sociedade, mirando no uso de combustíveis renováveis. Essa opção, além de contribuir para evitar a degradação das pastagens, irá proporcionar produção de matéria-prima para a indústria de óleos vegetais, com particular interesse para

**Tabela 5. Efeito de sistemas de manejo nos estoques de carbono orgânico total (Mg/ha) na camada de 0 a 20 cm de profundidade, após 11 anos de avaliação em Mato Grosso do Sul (Adaptado)<sup>22</sup>**

Sistemas	Local		
	Campo Grande	Maracaju	Dourados
Estoque inicial carbono <sup>1</sup>	51,30	51,68	41,92
Lavoura – plantio convencional	46,30	-	44,10
Lavoura – plantio direto	47,40	56,60	42,60
Rotação soja-pasto (2 anos)	50,50	61,40	48,02
Pasto permanente <sup>2</sup>	53,50	65,80	50,11
Vegetação nativa	53,98	68,70	44,49

<sup>1</sup>Estoque de carbono ao início do experimento, exceto na área de vegetação nativa e <sup>2</sup>*Urochloa decumbens* = *Brachiaria decumbens*

a produção de biocombustíveis. Nessa linha, já existem estudos com macaúba (*Acrocomia aculeata*), pinhão manso (*Jatropha curcas* L.), além de outras palmáceas oleaginosas, como o babaçu (*Orrbignya oleifera*), o dendê (*Elaeis guineensis*) e o coco (*Cocos nucifera*).

## Considerações finais

A demanda crescente por alimentos, produtos florestais e energia para atender às necessidades humanas continuará a pressionar o uso da terra. Dentro da nova ordem imposta pelo aquecimento global, esse crescimento deverá incluir uma nova pauta: redução ou paralisação da expansão de novas áreas em ecossistemas naturais e mitigação da emissão dos GEE, seja pela redução das emissões ou compensação das emissões pela fixação de carbono dos sistemas atuais de produção. Isso exigirá o aumento da eficiência desses sistemas. No Brasil, cuja produtividade média do setor agropecuário ainda é muito baixa, há um longo caminho a percorrer. A baixa produtividade, embora seja um problema, passa a ser uma aliada, pois permite grande expansão na produção ao mesmo tempo em que reduz as emissões por quilo de produto obtido. Entretanto, as emissões absolu-

tas podem aumentar. Mas há outra contribuição decorrente da baixa produtividade, pois grandes extensões de terra podem ser disponibilizadas para reflorestamento artificial ou regeneração natural com o aumento da produtividade, contribuindo para o balanço positivo das emissões no Brasil. Aí entra a ILP, a ILPF e os sistemas silvipastoris. A recuperação de pastagens com o emprego de sistemas integrados impacta na produtividade do pasto e, conseqüentemente, na produtividade dos animais, além de contribuir na mitigação dos GEE emitidos pela pecuária. Os sinergismos que podem ser obtidos nesses sistemas são incontestáveis: aumento da biodiversidade, incremento do

*Dentro da nova ordem imposta pelo aquecimento global, esse crescimento deverá incluir uma nova pauta: redução ou paralisação da expansão de novas áreas em ecossistemas naturais e mitigação da emissão dos GEE.*

ciclo orgânico e de nutrientes, principalmente quando se utilizam espécies fixadoras de nitrogênio, fornecimento de madeira, lenha, postes, mourões, que podem ser utilizados na propriedade rural e/ou produtos de base florestal com agregação de valor econômico,

melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, controle da erosão, fixação de carbono no solo, oferta de pasto de melhor qualidade para os animais, quebra dos ciclos de doenças e insetos-praga nas lavouras, redução dos riscos econômicos pela diversificação

da produção, recuperação e manutenção das pastagens com baixo custo.

Apesar dos benefícios incontestáveis que os sistemas de integração podem proporcionar, existem algumas necessidades que precisam ser atendidas. Embora a mídia, o setor acadêmico e o setor técnico promovam a disseminação de informações acerca desses sistemas, dos seus benefícios, das técnicas de implantação e de seu manejo, os produtores não irão adotar práticas que lhe tragam perdas financeiras, a não ser que recebam algum subsídio. Fernandes e Finco<sup>23</sup> realizaram um estudo na região Centro-Norte do Mato Grosso em que avaliaram o potencial de sistemas de integração como alternativa de baixa emissão de carbono em relação aos sistemas tradicionais de cultivo praticados na região. Os autores concluíram que os sistemas de ILP não se apresentam como alternativa atraente para os produtores da região, existindo estratégias de produção que geram ganhos econômicos superiores. Da mesma forma, as ferramentas implantadas pelo Programa ABC não se mostraram suficientes para o fomento da produção agropecuária em sistemas de ILP. Sugerem que o sistema de crédito de carbono pode ser

*Embora a mídia, o setor acadêmico e o setor técnico promovam a disseminação de informações acerca desses sistemas, dos seus benefícios, das técnicas de implantação e de seu manejo, os produtores não irão adotar práticas que lhe tragam perdas financeiras.*

um importante instrumento de fomento, sendo que, ao valor de US\$ 25,00 por Certificado de Redução de Emissões (1 tonelada de CO<sub>2</sub> equivalente), o produtor obterá ganhos econômicos expressivos, devido à implantação de sistemas de ILP. São políticas que o poder público e a sociedade devem avaliar.

Ao mesmo tempo há necessidade de aprofundar os estudos de balanço de carbono e de ciclo de vida de produtos oriundos de sistemas de integração, considerando que esses efeitos somente se consolidam após muitos anos de implantação. Concomitantemente aos benefícios da fixação de carbono, outros

aspectos, como os efeitos benéficos na conservação e uso do solo e da água, devem ser estabelecidos. Para isso, experimentos de longa duração devem ser conduzidos e estimulados pelos agentes de financiamento de pesquisa nos vários ecossistemas do país para que resultados consistentes sejam obtidos e possam ser transferidos aos produtores sem deixar margens de dúvidas quanto às vantagens econômicas e ecológicas que o sistema proporciona. Sistemas integrados de lavoura e pecuária podem ser a chave para a intensificação ecológica dos sistemas de produção, com potencial para pro-


vocar um grande impacto na produção pecuária bovina do Brasil e transformar o país numa alternativa para a segurança alimentar mundial com sustentabilidade ambiental.

## Referências bibliográficas

1. SEARCHINGER, T.; HANSON, C.; RANGANATHAN, J. I et al. Creating a sustainable food future. A menu of solutions to sustainably feed more than 9 billion people by 2050. World resources report 2013-14: interim findings. Washington, DC, 2014. 154 p.
2. GERBER, P.J.; STEINFELD, H.; HENDERSON, B. et al. Tackling climate change through livestock – A global assessment of emissions and mitigation opportunities. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, 2013. 115 p.
3. IBGE. Censo Agropecuário 2006. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/2006>>. Acesso em: julho 2014.
4. STRASSBURG, B.B.N.; LATAWIEC, A.E; BARIONI, L.G. et al. When enough should be enough: Improving the use of current agricultural lands could meet production demands and spare natural habitats in Brazil. *Global Environmental Change*, v.28, p.84–97. 2014.
5. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Animal: Espécies: Bovinos e Bubalinos. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/animal/especies/bovinos-e-bubalinos>> Acessado em julho 2014.
6. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS EXPORTADORAS DE CARNE – ABIEC. Exportações Brasileiras de Carne Bovina: janeiro a abril 2014. Disponível em: <<http://www.abiec.com.br/download/exportacao-jan-abr-2014.pdf>> Acessado em: julho 2014.
7. IPCC, Summary for Policymakers, In: Climate Change 2014, Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Edenhofer, O.; Pichs-Madruga, R.; Sokona, Y.; et al. (eds)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2014, 31 p.
8. MINISTERIO DA CIENCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO, Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil, Brasília, 2013, 76 p.
9. GERBER, P.T.; VELLINGA, T.; OPIO, C.; STEINFELD, H. Productivity gains and greenhouse gas emissions intensity in dairy systems. *Livestock Science*, v.139, n.1-2, p. 100-108, 2011.
10. IBGE. Produção da pecuária municipal. v.40, 2012, 68p.
11. RUAS, J.R.M.; SILVA, E.A.; QUEIROZ, D.S.; et al. Vacas F1 Holandês x Zebu uma opção para sistema de produção de leite em condições tropicais. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v.35, Edição Especial, 2014 (Artigo em impressão).
12. RUVIARO, C.F.; LÉIS, C.M.; LAMPERT, V.N.; et al. Carbon footprint in different beef production systems on a Southern Brazilian farm: a case study. *Journal of Cleaner Production*, (article in press), p.1-9, 2014.
13. BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Plano setorial de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas para a consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na agricultura: plano ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono) / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Ministério do Desenvolvimento Agrário, coordenação da Casa Civil da Presidência da República. – Brasília : MAPA/ACS, 2012. 173 p.
14. NASCIMENTO, M.C.; RIVA, R.D.D.; CHAGAS, C.S. et al. Uso de imagens do sensor ASTER na identificação de níveis de degradação em pastagens. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.10, n.1, p.196-202, 2006.
15. MORAES, A.; CARVALHO, P.C.F.; BARRO, R.S.; et al. Perspectivas da pesquisa em sistemas integrados de produção agrícola e pecuária no Brasil e os novos desafios. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 49, Brasília, *Anais...*Brasília: [s.n.] 2012 (CD Room).
16. BALBINO, L. C.; BARCELLOS, A. O.; STONE,

L. F. (Ed.). MARCO REFERENCIAL EM INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA (ILPF). Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2011.

17. SOUZA, J.A.; TEIXEIRA, M.R. Experiências com a implantação do sistema integração lavoura-pecuária. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v.28, n.240, p.112-119, 2007.
18. 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 (suplemento especial).
19. MACEDO, R.L.G.; VALE, A.B.; VENTURIN, N. Eucalipto em sistemas silvipastoris e agrossilvipastoris. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v.29, n.242, p.71-85, 2008.
20. BRAGA, G.J.; PEDREIRA, C.G.S.; HERLING, V.R.; LUZ, P.H.C. Eficiência de pastejo de capim-marandu submetido a diferentes ofertas de forragem. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.42, n.11, p.1641-1649, 2007.
21. SILVA, F.D.; AMADO, T.G. C.; FERREIRA, A.O.; et al. Soil carbon indices as affected by 10 years of integrated crop–livestock production with different pasture grazing intensities in Southern Brazil. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v.190, p.60–69, 2014.
22. SALTON, J.C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C. et al. Teor e dinâmica do carbono no solo em sistemas de integração lavoura-pecuária. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.46, n.10, p.1349-1356, 2011.
23. FERNANDES, M.S.; FINCO, M.V.A. Sistemas de integração lavoura-pecuária e políticas de mudanças climáticas. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.44, n.2, p.182-190, 2014.



# 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>.

*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.*

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 armazena-

mento 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

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.

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

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

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

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 porcentagem 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 nítrico 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, agriculture 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 agronômicas, 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-use/land-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 different 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 national 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: <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 agroforestry systems. *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. 5. 2011, Anais... Habana: Instituto de Investigaciones Forestais, 2011. 5p. 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: UFPA, 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 “Braquiarão” 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.