

Estratégias de Mitigação de Metano Entérico na Pecuária: Técnicas de Mensuração e Manejo Sustentável

Enteric Methane Mitigation Strategies in Livestock: Measurement Techniques and Sustainable Management

Amanda Grabe GUIMARÃES¹

¹-Departamento de Zootecnia, Universidade Federal de Mato Grosso, campus Sinop, Brasil.

*Autor correspondente: amandagrabe@gmail.com

RESUMO

A pecuária desempenha um papel estratégico na segurança alimentar global, mas enfrenta desafios de sustentabilidade, como a emissão de metano (CH₄) resultante da fermentação entérica. Este estudo teve como objetivo sintetizar as principais estratégias de mitigação e as técnicas de mensuração de CH₄ na pecuária, com foco em sistemas produtivos mais sustentáveis. Os resultados indicam que a avaliação precisa das emissões é fundamental para o entendimento da dinâmica do metano e para a validação de práticas mitigadoras, sendo as técnicas de coleta direta, como o *GreenFeed* e o gás traçador hexafluoreto de enxofre (SF₆), amplamente utilizadas em condições experimentais e a campo, complementadas por modelos indiretos de estimativa. Estudos demonstram que bovinos manejados em pastagens tropicais podem apresentar maiores emissões absolutas de CH₄, reforçando a necessidade de métodos adaptados às condições regionais. Em relação à mitigação, os Sistemas Silvopastoris (SSPs) emergem como uma alternativa promissora, pois promovem o conforto térmico dos animais, melhoram a qualidade da dieta e favorecem maior eficiência produtiva, resultando em menores emissões de metano por unidade de produto. Outras estratégias, como a adaptação dietética, o uso de aditivos antimetanogênicos, a suplementação com lipídeos ou algas marinhas, a seleção genética e o manejo adequado da pastagem, também demonstram eficácia na redução das emissões, sem comprometer o desempenho zootécnico. Em conclusão, a adoção de técnicas de mensuração precisas e a implementação de estratégias de manejo sustentável, especialmente em SSPs, são essenciais para otimizar a sustentabilidade ambiental da pecuária, garantindo a produtividade do sistema.

Palavras-chave: Emissões de GEE; Pecuária Sustentável; Sistemas Silvopastoris.

ABSTRACT

Livestock farming plays a strategic role in global food security but faces sustainability challenges, such as methane (CH₄) emissions resulting from enteric fermentation. This study aimed to synthesize the main methane mitigation strategies and CH₄ measurement techniques in livestock production, with a focus on more sustainable production systems. The results indicate that accurate emission assessment is essential for understanding methane dynamics and validating mitigation practices. Direct measurement techniques, such as *GreenFeed* and the sulfur hexafluoride (SF₆) tracer gas, are widely used under experimental and field conditions and are complemented by indirect estimation models. Studies show that cattle managed on tropical pastures may exhibit higher absolute CH₄ emissions, reinforcing the need for methods adapted to regional conditions. Regarding mitigation, Silvopastoral Systems (SPS) emerge as a promising alternative, as they promote animal thermal comfort, improve diet quality, enhance productive efficiency, resulting in lower methane emissions per unit of product. Other strategies, including dietary adaptation, the use of anti-methanogenic additives, supplementation with lipids or marine algae, genetic selection, and proper pasture management, have also proven effective in reducing emissions without compromising zootechnical performance. In conclusion, the adoption of precise measurement techniques and the implementation of sustainable management strategies, especially in SPS, are essential to optimize the environmental sustainability of livestock production while ensuring system productivity.

Keywords: GHG Emissions; Sustainable Livestock; Silvopastoral Systems.

1. INTRODUÇÃO

A pecuária desempenha um papel estratégico na segurança alimentar global, mas enfrenta desafios significativos relacionados à sustentabilidade ambiental. Entre os gases de efeito estufa (GEE) emitidos pela atividade pecuária, o metano (CH_4) é particularmente relevante, devido ao seu potencial de aquecimento global 25 vezes superior ao do dióxido de carbono (CO_2) (Forster et al., 2007; IPCC, 2013). A fermentação entérica dos ruminantes é a principal fonte de emissão de metano na pecuária, o que torna imperativa a busca por estratégias que mitiguem suas emissões sem comprometer a produtividade e a segurança alimentar da população (Knapp et al. 2014; Donadia et al., 2023).

A formação de metano ruminal é uma reação de redução de óxido realizada por *Archaea* (microrganismos unicelulares sem núcleo celular), a partir de hidrogênio e dióxido de carbono e outras fontes de carbono, e desempenha um papel fundamental no equilíbrio termodinâmico dos micróbios ruminais (Van Lingen et al., 2016). O hidrogênio e o dióxido de carbono são formados principalmente a partir da degradação microbiana de carboidratos, e o metano representa o maior sumidouro de hidrogênio no rúmen (Bauchemin et al., 2020).

No entanto, a emissão de metano também representa uma fonte de perda bruta de energia (2% a 12%) durante a digestão animal da ração, e isto tem sido associado principalmente ao nível de ingestão, composição da dieta, aditivos dietéticos como inibidores de metano, população microbiana ruminal e fisiologia e genética do hospedeiro animal (Donadia et al., 2023).

Nesse contexto, os Sistemas Silvopastoris (SSPs) têm se destacado como uma alternativa sustentável, ao integrar árvores, pastagens e animais em um único sistema produtivo. Os SSPs oferecem benefícios como maior qualidade de forragem, conforto térmico e sequestro de carbono, contribuindo para a redução de GEE e a sustentabilidade da pecuária (Murgueitio et al., 2015; Brasil, MAPA/SENAR, 2020).

O presente trabalho tem como objetivo revisar as principais estratégias de mitigação do metano entérico na pecuária e as técnicas de mensuração utilizadas.

2. METODOLOGIA

O presente estudo consiste em uma revisão de literatura de caráter narrativo, com o objetivo de sintetizar e discutir as principais evidências científicas relacionadas às emissões de metano entérico na pecuária, bem como às estratégias de mitigação e às técnicas de

mensuração utilizadas. A busca bibliográfica foi realizada nas seguintes bases de dados científicas: SciELO (Scientific Electronic Library Online), PubMed e Google Scholar, por serem amplamente utilizadas para a disseminação de pesquisas nas áreas de Ciências Agrárias, Zootecnia e Ciências Ambientais.

Foram utilizados descritores em português e inglês, combinados por meio de operadores booleanos (AND, OR), incluindo: “metano entérico” OR “enteric methane”, “pecuária” OR “livestock”, “ruminantes” OR “ruminants”, “sistemas silvipastoris” OR “silvopastoral systems”, “mitigação” OR “mitigation”, “emissões de gases de efeito estufa” OR “greenhouse gas emissions” e “mensuração” OR “measurement”. No PubMed, foram priorizados termos equivalentes do MeSH (Medical Subject Headings), quando aplicável. Os critérios de inclusão adotados foram: artigos científicos publicados em periódicos revisados por pares, disponíveis na íntegra, redigidos nos idiomas português e inglês, com publicação preferencial nos últimos 15 anos, e que abordassem diretamente a mensuração ou mitigação das emissões de metano entérico em sistemas pecuários, com ênfase em sistemas de produção a pasto e sistemas silvipastoris. Foram excluídos estudos duplicados, trabalhos sem acesso ao texto completo, publicações não científicas (resumos simples, editoriais, notas técnicas sem revisão por pares) e estudos que não apresentassem relação direta com o tema proposto.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para entender e mitigar as emissões de metano, é essencial utilizar técnicas de avaliação precisas (Hristov et al., 2022). As técnicas de coleta direta, como os fluxômetros e as câmaras respirométricas, medem o volume de metano expelido pelos animais em ambientes controlados (Rogério et al., 2019). O *GreenFeed* é uma tecnologia portátil que mede as emissões em tempo real diretamente no cocho dos animais, permitindo o monitoramento da eficiência de conversão alimentar (C-LOCK INC, 2018; Waghorn et al., 2016).

Outra técnica amplamente utilizada é a do gás traçador SF_6 para medição em campo, desenvolvida por Johnson et al. (1994) e adaptada no Brasil por Primavesi et al. (2004). Essa técnica, que permite a avaliação a pasto, revelou que a emissão de CH_4 por bovinos leiteiros ingerindo gramíneas tropicais foi superior à emissão de animais que ingerem gramíneas de clima temperado (Primavesi et al., 2004).

Também é possível realizar a estimativa indireta, utilizando equações baseadas na taxa de fermentação entérica (IPCC, 2013). Modelos como o NS Dairy Cattle demonstram maior precisão nas

estimativas para vacas manejadas em SSPs (Donadia et al., 2023), ressaltando a importância de modelos regionais.

As estratégias de manejo visam reduzir as emissões sem comprometer o desempenho dos animais (Ribeiro Pereira et al., 2015). A integração de árvores e pastagens em SSPs pode reduzir o estresse térmico, o que melhora a ingestão de alimentos e a conversão alimentar, resultando em menores emissões por unidade de produto (Mombach et al., 2016; Paciullo et al., 2011).

Estratégias de manejo, incluindo a adaptação dietética, a seleção genética e o manejo da pastagem, podem influenciar a eficiência do CH₄ e o desempenho zootécnico dos animais. Estratégias nutricionais específicas têm sido amplamente estudadas, como o uso de lipídeos, que podem reduzir as emissões por inibição direta de microrganismos metanogênicos ou pela redução do substrato de hidrogênio (Kebreab et al., 2025).

A proporção de amido e fibra na dieta também é crucial, pois dietas com maior concentração de amido podem influenciar a microbiota ruminal, alterando as vias de fermentação e, conseqüentemente, a produção de CH₄ (Hristov et al., 2022). O uso de aditivos antimetanogênicos, como o 3-nitrooxipropanol (3-NOP), tem mostrado grande eficácia na inibição da metanogênese, com reduções significativas nas emissões sem comprometer a produtividade dos animais (Kebreab et al., 2023; Donadia et al., 2023). Além disso, a suplementação com produtos à base de algas marinhas vermelhas, como a *Asparagopsis taxiformis*, emerge como estratégia promissora, com estudos demonstrando reduções drásticas na produção de metano entérico, cerca de 45-80%, variando de acordo com o nível de inclusão na dieta e o teor de forragem na mesma (Roque et al., 2021).

A seleção genética do rebanho e a melhoria da produtividade das pastagens são medidas adicionais que podem levar a uma maior produção de carne e leite na mesma área, reduzindo o CH₄ por unidade de produto (Oliveira, 2017). Deve-se levar em consideração a viabilidade técnica e econômica dessas medidas no contexto de diferentes sistemas de produção pecuária (Ribeiro Pereira et al., 2015).

4. CONCLUSÕES

A produção de metano entérico por ruminantes é uma parte inevitável dos sistemas de produção animal. Contudo, estratégias de mitigação são essenciais para reduzir as emissões, priorizando o aumento da produtividade e garantindo a sustentabilidade. O uso de técnicas precisas de mensuração, como as descritas nesta revisão, é fundamental para o monitoramento e o

desenvolvimento de novas tecnologias. A adoção de sistemas de produção sustentáveis, como os Sistemas Silvopastoris, juntamente com o manejo nutricional e genético, representa uma abordagem promissora para otimizar a sustentabilidade ambiental da pecuária brasileira. Futuras pesquisas devem continuar explorando a viabilidade técnica e econômica dessas medidas para diferentes contextos de produção.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Coletânea de fatores de emissão e remoção de gases de efeito estufa da pecuária brasileira**. Organizadoras: Eleneide Doff Sotta et al. Brasília, DF: MAPA/SENAR, 2020. 162 p.
- C-LOCK INC. **GreenFeed Instruction Manual**. 2018. Disponível em: <<https://www.clockinc.com>>. Acesso em: 9 dez. 2024.
- DIJKSTRA, Jan.; BANNINK, André.; CONGIO, Guillermo F.S.; ELLIS, Jennifer L.; EUGÈNE, Maguy; GARCIA, Florencia; NIU, Mutian; VIBART, Ronaldo E.; YÁÑEZ-RUIZ, David R.; KEBREAB, Emias. Feed additives for methane mitigation: Modeling the impact of feed additives on enteric methane emission of ruminants—Approaches and recommendations. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 108, n. 1, p. 356-374, 2025.
- DONADIA, Andrea B.; TORRES, Rodrigo N.S.; SILVA, Henrique M.; SOARES, Suziane R.; HOSHIDE, Aaron K.; OLIVEIRA, André S. Factors Affecting Enteric Emission Methane and Predictive Models for Dairy Cows. **Animals**, Basel, v. 13, n. 11, p. 1857, 2023.
- FORSTER, P.; RAMASWAMY, V.; ARTIXO, P.; BERNTSEN, T.; BETTS, R.; FAHEY, D. W. Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. In: **Climate Change 2007: The Physical Science Basis**. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. p. 129-234.
- GALLOSO-HÉRNANDEZ, Maykel. A.; RODRÍGUEZ-ESTÉVEZ, Vicente; ALVAREZ-DÍAZ, Carlos A.; SOCA-PÉREZ, Mildrey; DUBLIN, Devon; IGLESIAS-GÓMEZ, Jesús; GUELMES, Leonel S. Effect of Silvopastoral Systems in the Thermoregulatory and Feeding Behaviors of Water Buffaloes Under Different Conditions of Heat Stress. **Frontiers in Veterinary Science**, [S.l.], v. 7, p. 393, 2020.
- HRISTOV, Alexander N. Invited review: Advances in nutrition and feed additives to mitigate enteric methane emissions. **Journal of Dairy Science**, v. 107, n. 7, p. 4129-4146, 2024.
- HRISTOV, Alexander N.; MELGAR, A.; FADEL, J. G.; CASPER, D. P.; RHOADS, M. L. Symposium review: Effective nutritional strategies to mitigate enteric methane in dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 105, n. 10, p. 8543-8557, 2022.
- IPCC. **Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National**

Greenhouse Gas Inventories. 2000. Disponível em: https://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/gp/bgp/4_1_CH4_Enteric_Fermentation.pdf. Acesso em: 9 dez. 2024.

JOHNSON, Kristen; HUYLEY, Mark; WESTBERG, Hal; LAMB, Brian; ZIMMERMAN, Pat. Measurement of methane emissions from ruminant livestock using a SF6 tracer technique. **Environmental Science & Technology**, Washington, DC, v. 28, n. 2, p. 359–362, 1994.

JONKER, Arjan; WAGHORN, Garry. A Guide for the Use of the SF6 Tracer Technique to Measure Methane Emissions from Ruminant Livestock. **Livestock Improvement Corporation**, 2020.

KEBREAB, Ermias; BANNIK, André; PRESSMAN, Eleanor M.; WALKER, Nicola; KARAGIANNIS, Alexios; VAN GASTELLEN, Sanne; DIJKSTRA, Jan. A meta-analysis of effects of 3-nitrooxypropanol on methane production, yield, and intensity in dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 106, n. 2, p. 927-936, 2023.

KEBREAB, Ermias; PRESSMAN, Eleanor M.; RAMIREZ-AGUDELO, John-Fredy; BANNIK, André; VAN GASTELLEN, Sanne; DIJKSTRA, Jan. A meta-analysis of effects of seaweed and other bromoform-containing feed ingredients on methane production, yield, and intensity in cattle. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 108, n. 8, 2025.

KNAPP, J. R.; LAUR, G. L.; VADAS, P. A.; WEISS, W. P.; TRICARICO, J. M. Invited review: Enteric methane in dairy cattle production: quantifying the opportunities and impact of reducing emissions. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 97, n. 6, p. 3231-3261, 2014.

MOMBACH, Mirceia A.; PEDREIRA, Bruno C.; PEREIRA, Dalton H.; CABRAL, Luciano S.; RODRIGUES, Renato A. R. Emissão de metano entérico por bovinos: o que sabemos e que podemos fazer? In: **Simpósio de Pecuária Integrada**, 2., 2016, Sinop. Anais [...]. Cuiabá: Fundação Uniselva, 2016. p. 181-202.

MURGUEITIO, Enrique; ROSALES, Rolando B.; CHARÁ, Julián; FLORES, M. X.; MAURICIO, Rogerio; Molina, J. J. The intensive silvopastoral systems in Latin America sustainable alternative to face climatic change in animal husbandry. **Cuban Journal of Agricultural Science**, San José de las Lajas, v. 49, n. 4, p. 541-554, 2015.

OLIVEIRA, Vinicius S.; SANTANA NETO, José A.; VALENÇA, Roberta L.; SANTOS, Ana C.P. Estratégias para mitigar a produção de metano entérico. **Veterinária Notícias**, Uberlândia, v. 23, n. 1, p. 39-70, 2017.

PACIULLO, Domingos S. C.; CASTRO, Carlos R. T.; GOMIDE, Carlos A. M.; MAURÍCIO, Rogério M.; PIRES, Maria F. A.; MÜLLER, Marcelo D.; XAVIER, Deise F. Performance of dairy heifers in a silvopastoral system. **Livestock Science**, Amsterdam, v. 141, n. 2/3, p. 166-172, 2011.

PRIMAVESI, Odo; FRIGHETTO, Rosa T. S.; PEDREIRA, Márcio dos S.; LIMA, Magda A.; BERCHIELLI, Telma T.; BARBOSA, Pedro F. Metano entérico de bovinos leiteiros em condições tropicais brasileiras. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 3, p. 277–283, 2004.

RIBEIRO PEREIRA, Luiz G.; MACHADO, Fernanda S.; CAMPOS, Mariana M.; GUIMARÃES JÚNIOR, Roberto; TOMICH, Thierry R.; REIS, Larissa G.; COOMBS Cassius. Enteric methane mitigation strategies in ruminants: a review. **Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias**, Medellín, v. 28, n. 2, p. 124-143, 2015.

ROGÉRIO, Marcos C. P.; BORGES, Iran; FERREIRA, Alexandre L.; MACHADO, Fernanda S.; POMPEU, Roberto C. F. F.; GUEDES, Luciana F.; COSTA, Clésio S.; GUEDES, Fernando L.; GALVANI, Diego B. Especificações padrões para mensurações de gases de efeito estufa e metabolismo de pequenos ruminantes no bioma Caatinga. **Sobral: Embrapa Caprinos e Ovinos**, 2019. 24 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, n. 13).

ROQUE, Breanna M.; VENAGAS, Marielena; KINLEY, Robert D.; NYS, Rocky; DUARTE, Toni L.; YANG, Xiang; KEBREAB, Ermias. Red seaweed (*Asparagopsis taxiformis*) supplementation reduces enteric methane by over 80 percent in beef steers. **PLOS ONE**, San Francisco, v. 16, n. 3, p. e0247820, 2021.

VAN LINGEN, Herk J.; PLUGGE, Caroline M.; FADEL James G.; KEBREAB Ermias; BANNIK, André; DIJKSTRA, Jan. Thermodynamic Driving Force of Hydrogen on Rumen Microbial Metabolism: A Theoretical Investigation. **PLOS ONE**, San Francisco, v. 11, n. 8, p. e0161362, 2016.

WAGHORN, G. C.; JONKER, Arjan; MACDONALD, Kevin A. Measuring methane from grazing dairy cows using GreenFeed. **Animal Production Science**, Clayton, v. 56, n. 3, p. 252-257, 2016.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Mato Grosso, campus Sinop e ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia. À CAPES. À EMBRAPA Agrossilvipastoril.