

## Técnicas e tecnologias de mitigação de gases na produção animal

João Vitor França Pirola<sup>1\*</sup>; Cristiana Andrighetto<sup>2</sup>

DOI: <https://doi.org/10.35699/2447-6218.2022.40748>

### Resumo

A utilização de práticas e recursos para diminuir as emissões de gases de efeito estufa na agropecuária é assunto de grande importância nos dias de hoje, pois, em nível de opinião pública e internacional são mais vistas de forma negativa, sendo representada como uma ameaça ao meio ambiente e uma das responsáveis pela emissão de gases de efeito estufa no Brasil. O objetivo deste trabalho é fazer uma revisão de literatura abordando o conhecimento desses fatores e a importância para que se realize o manejo mais adequado e utilize tecnológicas no campo que possam contribuir para mitigação de gases. Nesta revisão aborda-se práticas de manejo, como utilização de suplementos múltiplos com intuito de aumentar a produtividade e redução das emissões de gases pelo aumento da produção de propionato e aditivos moduladores de fermentação ruminal que além de aumentar a produtividade diminuem a perda de carbono pela rota de fermentação dos glicídios, contribuindo também para uma atividade sustentável, produtiva e rentável que são os pilares da sustentabilidade.

**Palavras chaves:** Suplementos. Pecuária. Sustentabilidade.

## Techniques and technologies for mitigation of gases in animal production

### Abstract

The use of practices and resources to reduce greenhouse gas emissions in agriculture is a matter of great importance nowadays, because, at the level of public and international opinion, they are seen more negatively, being represented as a threat to the environment. environment and one of those responsible for the emission of greenhouse gases in Brazil. The objective of this work is to review the literature addressing the knowledge of these factors and the importance of carrying out the most appropriate management and using technologies in the field that can contribute to the mitigation of gases. This review addresses management practices, such as the use of multiple supplements in order to increase productivity and reduce gas emissions by increasing the production of propionate and ruminal fermentation modulating additives that, in addition to increasing productivity, reduce carbon loss by carbohydrate fermentation route, also contributing to a sustainable, productive and profitable activity that are the pillars of sustainability.

**Keywords:** Supplements. Livestock. Sustainability.

<sup>1</sup>Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho". São Paulo, SP Brasil.  
<https://orcid.org/0000-0002-9630-6279>

<sup>2</sup>Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho". São Paulo, SP Brasil.  
<https://orcid.org/0000-0001-6543-9696>

\*Autor para correspondência: [joao.pirola@unesp.br](mailto:joao.pirola@unesp.br)

## Introdução

O Brasil é um dos maiores produtores de alimentos do mundo, tendo a carne bovina grande fonte produtiva, produzindo 7.39 milhões de toneladas e exportando 1,26 milhões de toneladas (ABIEC, 2022). Em função dessa alta produtividade é também um dos países que mais emitem gases de efeito estufa (GEE), e a agropecuária uma das responsáveis nas emissões, contribuindo com cerca de 536,1 Mt CO<sub>2</sub> equivalente (SEEG, 2021).

Os principais gases de efeito estufa são o óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), o metano (CH<sub>4</sub>) e o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), sendo emitidos naturalmente e por atividades antropogênicas. Como destacado pelo Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC), a agropecuária é responsável por 20 % das emissões globais (SEEG, 2021). A emissão destes gases está ligada a condições do ambiente, tipo de manejo e composição das excretas e o teor de matéria orgânica (MO) e nitrogênio (N) (Grossi et al., 2019).

No Brasil, pela extensa área territorial, a criação de bovinos de corte é predominantemente a pasto, e nas pastagens o CO<sub>2</sub> é emitido pela decomposição da matéria orgânica do solo, já o CH<sub>4</sub> é produzido durante a fermentação de ácidos graxos de cadeia curta no rúmen e emitido por eructação pelos animais. O N<sub>2</sub>O é emitido nas fezes e urina, podendo ser emitido também pela adubação nitrogenada.

Em função dessa crescente necessidade de aumento da produtividade, é necessário conhecimentos técnicos e científicos visando minimizar emissões de GEE, relacionado a produção agropecuária. Dentro dos aspectos agrônômicos, algumas técnicas se destacam, como o correto manejo das pastagens, adubação nitrogenada (Carvalho et al., 2019), utilização de culturas leguminosas como adubo verde, isso porque possuem a capacidade de fixação biológica do nitrogênio (Ribeiro et al., 2016). Outra alternativa é a prática dos sistemas integrados de produção agropecuária, que visam acúmulo de carbono no solo, através da palhada do capim. Quanto aos aspectos zootécnicos, uso de suplementação proteica ou proteica energética com aditivos que modulam a fermentação ruminal, alterando a relação de ácidos graxos voláteis, diminuindo a perda de carbono na rota de fermentação, consequentemente diminuindo as perdas de CH<sub>4</sub> por eructação (Moss, 2000).

A manipulação das dietas de bovinos representa uma oportunidade para reduzir as perdas de N nas excretas, um exemplo é a utilização de aditivos ou até mesmo utilização de proteína de menor degradação ruminal, isso aumenta o fluxo de proteína para o intestino o que diminui a emissão de N por eles pois o torna mais absorvível no intestino do animal.

Devido a relevância econômica e social da pecuária, as pesquisas têm buscado gerar informações técnicas e científicas que possam embasar e quantificar mais exato os reais impactos positivos e negativos dos sistemas pecuários para o meio ambiente e propor alternativas por meio de manejo e tecnologias que reduzam as emissões dos gases de efeito estufa.

## Desenvolvimento

### Gases de efeito estufa (GEE)

Aproximadamente 10 a 15% do CH<sub>4</sub> produzido por bovinos são originados a partir das fezes e o restante por eructação, essa produção via fezes é devido aos micro-organismos metanogênicos, conhecido como Archaeas, sendo que estes utilizam o CO<sub>2</sub>, hidrogênio e ácidos orgânicos como o formato para produção de CH<sub>4</sub>. A produção de CH<sub>4</sub> a partir das fezes é menor que o CH<sub>4</sub> entérico, pois os dejetos depositados nas pastagens secam rapidamente devido às condições ambientais (Pedreira e Primavesi, 2006). Outro fator que influencia na produção de CH<sub>4</sub> e afeta diretamente os micro-organismo, é a temperatura, onde em condições de 37 a 42°C favorece o crescimento dos micro-organismos, já em temperaturas inferiores a 25°C, diminui a taxa de crescimento (FNR, 2010).

De acordo com Stocker (2014), afirma que as excretas de bovino em condições de sistema altamente produtivo seja em torno de 1kg CH<sub>4</sub> cabeça ano. Em estudos, Cardoso et al. (2017), encontraram valores de emissão que chegaram a 0,54 kg CH<sub>4</sub> cabeça ano, já Mazzeto et al. (2014), encontraram 0,1 kg CH<sub>4</sub> cabeça ano, divergindo das afirmações. Para a produção de CH<sub>4</sub> os micro-organismos no rúmen, tais como bactérias, protozoários e fungos, hidrolisam o amido proveniente da dieta e os polissacarídeos da parede celular vegetal, produzindo açúcares e ácidos graxos de cadeia curta (AGCC), CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>, a formação do CH<sub>4</sub> no rúmen é feita pela remoção no H<sub>2</sub> e redução do CO<sub>2</sub>, formando o CH<sub>4</sub> (Zotti et al. 2009). Isso é devido que o acetato e butirato, produto final da fermentação não são equivalentes em quantidade de carbono comparado ao piruvato, produto que dá origem ao AGCC, ocorrendo perdas de carbono, liberação de H<sub>2</sub>, favorecendo a metanogênese, além do mais a produção de acetato e butirato ocorre na fermentação de carboidratos fibrosos. Diferentemente, a produção de propionato não ocorre perdas de carbono, por conta que possui o mesmo número de carbono que o piruvato.

### Oxido nitroso

No Brasil, dados mostra que as emissões de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) do setor agropecuário chega a 50,4% do total emitido (Brasil, 2016). As emissões de óxido nitroso ocorrem naturalmente no solo, mas também pode ocorrer

pela utilização de fertilizantes nitrogenados, seja ele orgânico ou inorgânico (Grossi et al., 2019). De acordo com a Organização Meteorológica Mundial – WMO (2021), a agricultura contribui cerca de 70% de todas as emissões antropogênicas de N<sub>2</sub>O, a qual aumentou cerca de 30%. A média global de N<sub>2</sub>O em 2020 atingiu 33,2ppb, o que significa um aumento de 1,2 ppb em relação a 2019 (WMO, 2021).

Nas fezes dos bovinos, apenas 3% do N total é prontamente disponível para absorção das plantas, o restante é necessário que ocorra o processo de mineralização do N orgânico contido nas fezes, para que só assim, seja absorvido pelas plantas (Braz et al., 2002). A desnitrificação é o processo de redução do NO<sub>3</sub> para N<sub>2</sub>O, e N<sub>2</sub>, processo que é realizado por bactérias anaeróbias facultativas. Esse processo representa a principal via de perda de N do solo para a atmosfera e pode ser afetado por fatores como umidade, temperatura, pH, teor de nitrato e porosidade do solo (Moreira e Siqueira, 2006).

O excesso de umidade presente no solo favorece a produção de N<sub>2</sub>, isso acontece por conta do preenchimento dos poros do solo por água, beneficiando a formação de micro-sítios de anaerobiose, devido à dificuldade de difusão de O<sub>2</sub>, e quando esse preenchimento dos poros está entre 35 e 60%, beneficia o processo de nitrificação (Bastos, 2018).

De acordo com Lessa (2011), as emissões de N<sub>2</sub>O oriundas das fezes e urina de bovinos pastagens de *Urochloa brizantha* cv. Marandú, em solos de cerrados, aumentam seu fluxo após a ocorrência de fortes chuvas, e pode se inferir que as emissões são influenciadas por essas precipitações atmosféricas.

Outro fator que afeta diretamente as emissões de N<sub>2</sub>O é a variação da temperatura. Temperaturas elevadas aumentam a taxa de respiração do solo e as zonas de anaerobiose, o que torna um maior volume do solo desprovido de O<sub>2</sub> elevando a taxa de desnitrificação (Smith et al., 2003).

Estudo de Cardoso (2013) demonstrou que um animal de 450 kg de peso vivo, em ambientes de clima tropical, emite por ano 0,879 kg de N-N<sub>2</sub>O ano<sup>-1</sup>. Já outro estudo de Cardoso et al. (2018) quantificaram as emissões provenientes de fezes e urina de bovinos criados em pastagem, e registraram que durante a estação seca os fatores de emissão das fezes e urina dos animais foram 0,32% e 0,47% respectivamente, já no período chuvoso os fatores de emissão foram 0,36% e 1,02% de fezes e urina, respectivamente.

### Amônia

A amônia é um gás que, do ponto de vista primário, não é um GEE, entretanto suas transformações ou desdobramentos podem contribuir para o aquecimento global, isso devido que a NH<sub>3</sub> atua como fonte secundária

de N<sub>2</sub>O quando retorna na superfície do solo (Hristov et al., 2013). As maiores volatilizações de NH<sub>3</sub> de excretas ocorrem através da urina (Lee et al., 2012; Lessa, 2014, Cardoso et al., 2017), essas perdas ocorrem em função da hidrólise da ureia elevar temporariamente o pH do solo, o que favorece as perdas por volatilização, chegando a 90% do NH<sub>3</sub> emitido (Lee et al., 2012).

Em estudo avaliando o aditivo extrato de tanino condensado na dieta de bovinos de corte, observou-se que os animais que receberam suplementação do aditivo reduziram as emissões de NH<sub>3</sub>, devido ao extrato se complexar a proteína, não ocorrendo degradação ruminal e com isso, metabolizado no intestino (Koenig et al., 2018). De acordo com Zhao (2017) e Yang et al., (2016), os taninos podem alterar a relação de N excretado via fezes e urina e atuar sobre micro-organismos, além de apresentarem potencial para mitigar as emissões de N<sub>2</sub>O. Os taninos podem complexar com as frações solúveis da proteína, diminuindo a degradação ruminal, e conseqüentemente aumento na proteína metabolizável, diminuindo as perdas de N via urina. O complexo tanino-proteína poderá ser hidrolisado no abomaso, permitindo a digestão da proteína bruta (PB), absorção de aminoácidos no intestino (Min et al., 2003), e aumento da síntese de proteína microbiana (Makkar, 2003). Porém, essa hipótese ainda não foi avaliada em condições tropicais.

### Dióxido de carbono

Em sistemas de pastagens o CO<sub>2</sub> é emitido por oxidação da matéria orgânica do solo, perdendo o carbono estocado. A deposição de dejetos no solo pode alterar significativamente as condições do solo, proporcionando deposição de carbono, alterando a população de micro-organismos, que possibilitando a decomposição de matéria orgânica, modificando a disponibilidade de nutrientes e, conseqüentemente alterando a produção de CO<sub>2</sub> (Singh et al., 2010).

No Brasil, as mudanças do uso do solo, o desmatamento e a agropecuária são responsáveis pela maior parte das emissões, pois as áreas de florestas e ecossistemas naturais são grandes reservatórios de carbono, por capacidade de absorção e estoque de CO<sub>2</sub> (Galford, et al., 2010). O CO<sub>2</sub> é o gás que tem maior contribuição para o aquecimento global, representando mais de 70% das emissões de GEE, apresentando vida útil de aproximadamente cem anos.

### Suplementação animal e uso de aditivos

Uma das estratégias utilizadas para mitigar os GEE, é o fornecimento de alimentos concentrados para os animais a pasto, isso, com finalidade de fornecer os nutrientes e a quantidade suficiente que não são fornecidos pelo pasto (Reis et al., 2009). Esse fornecimento de concentrado para os animais, possibilita o aumento da produção de propionato, conseqüentemente a redução da emissão de CH<sub>4</sub>, além de melhorar o desempenho destes,

essa estratégia também favorece a capacidade suporte das pastagens, isso pelos efeitos substitutivos, combinado e aditivo que ocorre, possibilitando um abate precoce dos animais, tornando a atividade de melhor rentabilidade.

No ambiente forrageiro, pela sazonalidade de produção, um dos nutrientes mais importante na produção de gado a pasto é o nitrogênio, sua utilização de extrema importância, podendo ser feita pela adubação nitrogenada nas pastagens e ou por meio da suplementação via farelos proteicos aos animais. De acordo com Koscheck et al. (2020), há situações que os pasto não fornece teores de proteína bruta necessário para síntese microbiana, consequentemente comprometendo o desempenho animal, e há situações que o pasto ultrapassa a quantidade exigida pela maioria das categorias animais (12%PB), sendo que nesta situação, a suplementação energética pode otimizar o ganho de peso dos animais.

Juntamente com a suplementação de concentrados para os animais, há os aditivos. A suplementação animal e uso de aditivos na alimentação de ruminantes tem efeito positivo no ganho de peso animal e no controle das emissões dos gases efeito estufa gerados pela agropecuária (Da Silva et al., 2017). Tais condições resultam em melhor aproveitamento da proteína proveniente da dieta, ocorrendo máxima síntese de proteína microbiana no rúmen, resultando em menores excreções via urina (Makkar, 2003).

#### Aditivos fitogênicos

Os taninos possuem capacidade de se ligar as proteínas verdadeiras e protegê-las da degradação ruminal, diminuindo o N amoniacal proporcionado pela degradação ruminal. Desta forma, tem-se o aumento dos fluxos de proteína bruta para o intestino, onde a digestão desta fração do alimento e absorção de aminoácidos ocorre mais intensamente (Carulla et al., 2005). De acordo com Waghorn, (2008). têm capacidade de se ligar as proteínas verdadeiras e protegê-las da degradação ruminal, diminuindo o N amoniacal proporcionado pela degradação ruminal. Em comparação com o tanino condensado (TC), os taninos hidrolisáveis (TH) têm ligações mais fracas com proteínas, sendo mais facilmente absorvidos no trato digestivo e consequentemente possuindo potencial de toxicidade maior para os animais (Beauchemin et al., 2008; Mueller Harvey, 2006), porém agem diretamente na população de micro-organismos metanogênicos (Jayanegara et al., 2015). Em função desses benefícios promovidos pelos taninos, consequentemente diminui o N na urina, em função que ele é mais aproveitado pelo animal evitando perdas por lixiviação e volatilização na forma de  $\text{NH}_3$ .

Jayanegara et al. (2012) em um estudo de meta análise com intuito de verificar o potencial de mitigação de  $\text{CH}_4$ , avaliaram 30 experimentos, compreendendo 171 tratamentos, onde as doses de tanino variaram de 0 a 250 g  $\text{kg}^{-1}$  MS. Foi observado que a mitigação de

$\text{CH}_4$  ocorre quando as doses de tanino são maiores que 20 g  $\text{kg}^{-1}$  MS. Quanto a toxicidade, valores acima de 50 g  $\text{kg}^{-1}$  MS podem causar irritação e descamação da mucosa intestinal, lesões do fígado e nos rins, úlceras e até morte (Reed, 1995). Valores acima de 50 g  $\text{kg}^{-1}$  MS de tanino também podem ocasionar diminuições no consumo, no ganho de peso e consequentemente limitações no aproveitamento dos alimentos (Kahiya et al., 2003; Athanasiadou et al., 2001).

Francisco et al., (2015) e Morales et al., (2015) relataram que as propriedades antimicrobianas dos taninos podem manipular a atividade microbiana ruminal em direções favoráveis, como por exemplo, retardar a digestão de proteínas, aumentar a síntese de proteína microbiana, diminuir produção de  $\text{CH}_4$  e evitar timpanismo. De acordo com Da Silva et al. (2017), dietas com taninos promovem maior ganho de peso, quando comparado a dietas sem o aditivo. Tais condições resultam em melhor aproveitamento da proteína proveniente da dieta, ocorrendo máxima síntese de proteína microbiana no rúmen (Sliwinski et al., 2002; Makkar, 2003) e redução na produção de metano entérico por unidade de matéria seca ingerida (Scalbert, 1991; Woodward et al., 2001).

#### Monensina Sódica

Dentre os aditivos disponíveis para mitigação das emissões de GEE, a monensina sódica é um representante de um grande grupo de antibióticos poliéster ionóforos (Barragry, 1994), que por definição, são moléculas de baixo peso molecular capazes de interagir com íons e cátions ( $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ ) servindo assim como veículo de transporte para estes íons, através da membrana celular (Ovchinnikov, 1979). A molécula de monensina sódica contém seis átomos de oxigênio, e pode assumir uma conformação cíclica devido a presença de ligações de hidrogênio na qual os átomos de oxigênio estão no centro de uma estrutura em forma de anel em que podem se complexar com cátions adequados e formar a estrutura cristalina (Lutz et al., 1971).

A monensina tem sido utilizada na alimentação animal, mais especialmente, como aditivo zootécnico (Salman et al., 2006). No Brasil, é o aditivo mais utilizado nos confinamentos (Millen et al., 2009). O uso dos antibióticos até 2030 deve atingir nove mil toneladas/ano, sendo a China utilizando cerca de 30 mil toneladas/ano, segundo lugar os Estados Unidos, com pouco mais de 10 mil toneladas/ano. (Raposo, 2018).

O aumento no uso de monensina está associado aos benefícios de melhorar a eficiência do metabolismo energético, modificando a dinâmica da fermentação ruminal, inibindo seletivamente o crescimento de bactérias gram-positivas, que produzem amônia, acetato, lactato e hidrogênio no rúmen (Haney et al., 1967). De acordo com Russel e Strobel, (1989) o efeito dos aditivos sobre os micro-organismos de membrana simples, é que inicialmente a concentração de  $\text{K}^+$  no meio intracelular é

superior a extracelular. Dessa forma, quando a monensina liga-se à membrana celular ocorre uma rápida saída de  $K^+$  e entrada de  $H^+$  na célula devido a mudança no gradiente iônico externo. Como no rúmen, há dois tipos de bactérias, sendo as gram negativas caracterizada pela dupla membrana celular, a monensina sódica não possui ação sobre esta bactéria, controlando apenas as gram positivas. Desse modo, a monensina sódica no rúmen modifica a produção de ácidos graxos de cadeia curta, ocorrendo diminuição da proporção molar dos ácidos acético e butírico (McGuffey et al., 2001), com consequente redução de produção dos gases metano ( $CH_4$ ) e carbônico ( $CO_2$ ) (Bagg, 1997).

O acetato e butirato são os produtos mais oxidados, quanto mais acetato e butirato produzidos, maiores serão os gastos de energia com liberação de  $H_2$ , consequentemente maior produção de metano, pois o  $H_2$  é liberado, logo em seguida é capturado pelas bactérias metanogênicas e convertido em metano (Arcuri et al., 2006).

As respostas positivas dos bovinos à suplementação de monensina na dieta são bem documentadas e os resultados de pesquisa indicam melhoria na conversão alimentar, eficiência alimentar, particularmente em dietas ricas em grãos e reduz a produção de ácido láctico, aumentando a proporção molar de propionato e retenção de nitrogênio (Goodrich et al., 1984). O uso de monensina aumenta a produção de propionato e diminui a produção de metano, o que aumenta a absorção de energia pelo rúmen. Além disso, como o propionato é gluconeogênico, a maior produção desse ácido graxo de cadeia curta pode aumentar a deposição de gordura intramuscular, que utiliza uma alta proporção de glicose para a síntese de ácidos graxos, em comparação com o tecido adiposo subcutâneo (Gilbert et al., 2003).

### Virginiamicina

A VM, é antibiótico pertencente à classe das estreptograminas, produzidas por uma cepa mutante

de *Streptomyces virginiae* (Desomer; Van Dijck; 1995). Ou seja, mistura mineral de dois componentes químicos distintos, denominados fator M e fator S, que combinadas na proporção aproximada de 4:1 (M:S), promovem melhora na atividade antimicrobiana (Champney; Tober, 2000). A VM atinge o local de ação facilmente em bactérias gram-positivas, passando pela célula enquanto as gram-negativas são menos susceptíveis ao antimicrobiano (Cocito, 1979).

Esse efeito antimicrobiano nas bactérias gram-positivas, melhora a fermentação ruminal, modulando a fermentação ruminal e diminuindo também as emissões de  $CH_4$ , pelo aumento na produção de propionato. Em alguns casos, pequenas concentrações de VM entram em contato com a parede celular das bactérias por curtos períodos e mesmo após a retirada do agente antibacteriano, seu crescimento é inibido, este efeito é conhecido por bacteriopausa. Então este antibiótico inibe a síntese proteica da célula bacteriana nos ribossomos, pois inibe a formação dos enlaces peptídicos (Cocito, 1979). A utilização da VM como aditivo alimentar proporciona redução na ingestão de matéria seca, melhora na eficiência alimentar, reduz a taxa de degradação proteica, aumenta a síntese do propionato e diminui a do acetato e butirato, aumentam o pH ruminal, também inibem o crescimento das bactérias produtoras de ácido láctico (Ballarini et al., 1986).

### Conclusão

Diante do relato e afirmando que os pilares da sustentabilidade são produtividade, rentabilidade e menor impacto ambiental, a diminuição dos gases de efeito estufa na pecuária se dá através de práticas produtivas, como a utilização de aditivos que possuem capacidade de modular a fermentação dos glicídios e consequentemente aumentam a produção de propionato, diminuindo a perda de carbono pela rota de fermentação. Essas práticas além de produtivas, sustentáveis se mostram rentáveis. Pesquisas de campo na área se fazem necessárias para quantificar essas diminuições e sua eficiência prática.

### Referências

- ABIEC – Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes. 2022. Beef Report. Brasília: ACOMPANHE AS EXPORTAÇÕES DE 2022. Disponível em: <http://abiec.com.br/>
- Arcuri, P.B., Lopes, F.C.F., Carneiro, J.C. 2006. Microbiologia do rúmen. In Berchielli, T.T., Pires, A.V., Oliveira, S.G. Nutrição de ruminantes. Jaboticabal, p.111.150, Brasil.
- Athanasiadou, S.; Kyriazakis, I.; Jackson, F.; Coop, R. L. 2001. Direct anthelmintic effects of condensed tannins towards different gastrointestinal nematodes of sheep: in vitro and in vivo studies. Veterinary Parasitology, v.99, n.3, p.205–19. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0304-4017\(01\)00467-8](https://doi.org/10.1016/S0304-4017(01)00467-8).
- Bagg, R. 1997. Mode of action of ionophores in lactating dairy cattle. Usefulness of ionophores in lactating dairy cattle. Guelph: Ontario Veterinary College, p.13–21.
- Ballarini, R.; Shah, S. P.; Keer, L. M. 1986. Failure characteristics of short anchor bolts embedded in brittle material. Proceedings of the Royal Society of London, London, v. a 404, p. 35–54.
- Barragry, T.B. 1994. Growth promoting agents in veterinary drug therapy. Lea and Febiger, Philadelphia, p.607–615.
- Bastos, D. F. 2018. Emissão de óxido nitroso da urina e fezes de bovinos e ovinos em sistemas pecuários extensivos. Tese de doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/197734>.
- Beauchemin, K. A., Kreuzer, M., O'mara, F., & Mcallister, T. A. 2008. Nutritional management for enteric methane abatement: a review. Australian Journal of Experimental Agriculture, v. 48, n. 2, p. 21–27. Disponível em: <https://doi.org/10.1071/EA07199>.

- Brasil, M. C. T. I. 2016. Terceira comunicação nacional do Brasil à convenção-quadro das nações unidas sobre mudança do clima. Setor Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas. MCT, Brasília, DF, Brasil, p. 79.
- Braz, S. P., Nascimento Junior, D. D., Cantarutti, R. B., Regazzi, A. J., Martins, C. E., & Fonseca, D. M. D. 2002. Disponibilização dos nutrientes das fezes de bovinos em pastejo para a forragem. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 31, 1614–1623. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbz/a/hhGvVt6Rxydf5KwPPV8nhjt/?lang=pt>.
- Cardoso, A. S., Brito, L. F., Januszkiewicz, E. R., Da Silva, Morgado, E., Barbero, R. P., Koscheck, J. F. W., Reis, R. A., Ruggieri, A. C. 2017. Impact of grazing intensity and seasons on greenhouse gas emissions in tropical grassland. *Ecosystems*, v. 20, n. 4, p. 845–859. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10021-016-0065-0>.
- Cardoso, A. S.; Alves, B.J.R.; Urquiaga, S.; Boddey, R.M. 2018. Effect of volume of urine and mass of feces on N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> emissions of dairy cow excreta in a tropical pasture. *Animal Production Science* 58, 1079–1086. Disponível em: <https://doi.org/10.1071/AN15392>.
- Cardoso, A. S.; Januszkiewicz, E. R.; Oliveira, S. C.; Brito, L. F.; Morgado, E. S.; Ruggieri, A. C. 2013. Emissão de metano por excretas de bovinas em pastagens de capim-marandú durante o verão. XXXIV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2013, Florianópolis-SC, v.1.
- Carulla, J. E., M. Kreuzer, A. Machmüller, and H. D. Hess. 2005. Supplementation of *Acacia mearnsii* tannins decreases methanogenesis and urinary nitrogen in forage-fed sheep. *Australian journal of agricultural research*. 56:961–970. Disponível em: <https://doi.org/10.1071/AR05022>.
- Carvalho, Z. G.; Sales, E. C. J. D.; Monção, F. P.; Vianna, M. C. M.; Silva, E. A.; Queiroz, D. S. 2019. Morphogenic, structural, productive and bromatological characteristics of Braquiária in silvopastoral system under nitrogen doses. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 41. Disponível em: <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v41i1.39190>.
- Champney, W.S. Tober, C.L. 2000. Specific inhibition of 50S ribosomal subunit formation in *Staphylococcus aureus* cells by 16-membered macrolide, lincosamide, and streptogramin B antibiotics. *Current Microbiology*, v. 41; n. 2; p. 126–135. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s002840010106>.
- Cocito, C. 1979. Antibiotics of the virginiamycin family, inhibitors which contain synergistic components. *Microbiological Reviews*, Washington, v. 43, n. 2, p. 145–198.
- Da Silva Carrega, Correia, M. F.; Dantas, A. 2017. Metano ruminal e o uso de taninos condensados como estratégia de mitigação. *Nucleus Animalium*, v. 9, n. 1, p. 51–64. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6229736>.
- DeSommer, P.; Van Dijck, P.A. 1955. Preliminary report on antibiotic number 899, a streptogramin-like substance. *Antibiotics and Chemotherapy*, Washington, v.5, p. 11.
- FNR - Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe. 2010. Guia Prático do Biogás: Geração e Utilização. Ministério da Nutrição Agricultura e Defesa do Consumidor da Alemanha. Gülzow, Alemanha.
- Francisco, A., Dentinho, M.T., Alves, S.P., Fernandes, F., Sengo, S., Jerônimo, E., Oliveira, M.A., Costa P., Sequeira A., Bessa R.J.B., Santos-silva J. 2015. Growth performance, carcass and meat quality of lambs supplemented with increasing levels of a tanniferous bush (*Cistus ladanifer* L.) and vegetable oils. *Meat Science*, 100, 275–282. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.10.014>.
- Galford, G. L., Melillo, J. M., Kicklighter, D. W., Cronin, T. W., Cerri, C. E., Mustard, J. F., & Cerri, C. C. 2010. Greenhouse gas emissions from alternative futures of deforestation and agricultural management in the southern Amazon. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 107, n. 46, p. 19649–19654. Disponível em: <https://doi.org/10.1073/pnas.1000780107>.
- Gilbert, C.D., Lunt, D.K., Miller, R.K., Smith, S.B. 2003. Carcass, sensory, and adipose tissue traits of Brangus steers fed casein-formaldehyde-protected starch and/or canola lipid. *Journal of Animal Science*, v.81, n.10, p.2457–2468.
- Goodrich, R.D., Garrett, J.E., Gast, D.R., Kirick, M.A., Larson, D.A., Meiske, J.C. 1984. Influence of monensin on the performance of cattle. *Journal of Animal Science*, v.58, n.6, p.1484–1498.
- Grossi, G., Goglio, P., Vitali, A., Williams, A. G. 2019. Livestock and climate change: impact of livestock on climate and mitigation strategies. *Animal Frontiers*, v. 9, n. 1, p. 69–76. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/af/vfy034>.
- Haney, M.E., Knox, N.G., Hoehn, M.M. 1967. Monensin, um novo composto biologicamente ativo. *Antimicrob. Agentes Chemother.* v.7, p.353–358.
- Hristov, A. N., Firkins, J. Oh, J. L., Dijkstra, J., Kebreab, E., Waghorn, G., Makkar, H. P. S., Adesogan, A. T., Yang, W., Lee, C., Gerber, P. J., Henderson, B., Tricarico, J. M.. 2013. SPECIAL TOPICS - Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: I. A review of enteric methane mitigation options, *Journal of Animal Science*, Volume 91, p 5045–5069. Disponível em: <https://doi.org/10.2527/jas.2013-6583>.
- Jayanegara, A., Goel, G., Makkar, H. P., & Becker, K. 2015. Divergence between purified hydrolysable and condensed tannin effects on methane emission, rumen fermentation and microbial population in vitro. *Animal Feed Science and Technology*, 209, 60–68. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.08.002>.
- Jayanegara, A.; Leiber, F.; Kreuzer, M. 2012. Meta-analysis of the relationship between dietary tannin level and methane formation in ruminants from in vivo and in vitro experiments. *Journal of animal physiology and animal nutrition*, v. 96, n. 3, p. 365–375. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2011.01172.x>.
- Kahiya, C.; Mukaratirwa, S.; Thamsborg, S.M. 2003. Effects of *Acacia nilotica* and *Acacia karoo* diets on *Haemonchus contortus* infection in goats. *Veterinary Parasitology*, v.115, n.3, p.265–74. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0304-4017\(03\)00213-9](https://doi.org/10.1016/S0304-4017(03)00213-9).
- Koenig, K. M.; Beauchemin, K. A. 2018. Effect of feeding condensed tannins in high protein finishing diets containing corn distillers grains on ruminal fermentation, nutrient digestibility, and route of nitrogen excretion in beef cattle. *Journal of Animal Science*, v. 96, n. 10, p. 4398–4413. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/jas/sky273>.
- Koscheck, J. F. W., Romanzini, E. P., Barbero, R. P., Delevatti, L. M., Ferrari, A. C., Mulliniks, J. T., Mousquer, C. J., Berchielli, T. T., REIS, R. A. 2020. How do animal performance and methane emissions vary with forage management intensification and supplementation? *Animal Production Science*, p.1–29. Disponível em: <https://doi.org/10.1071/AN18712>.
- Lee, C., Hristov, A. N., Heyler, K. S., Cassidy, T. W., Lapiere, H., Varga, G. A., Parys, C. 2012. Effects of metabolizable protein supply and amino acid supplementation on nitrogen utilization, milk production, and ammonia emissions from manure in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, v. 95, n. 9, p. 5253–5268. Disponível em: <https://doi.org/10.3168/jds.2012-5366>.

- Lessa, A. C. R. 2011. Emissão de óxido nitroso e volatilização de amônia de urina e fezes bovina em pastagens. Seropédica RJ, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Dissertação Mestrado em Agronomia, Ciência do Solo. Disponível em: <https://tede.ufrj.br/handle/jspui/3922>.
- Lessa, A. C. R., Madari, B. E., Paredes, D. S., Boddey, R. M., Urquiaga, S., Jantalia, C. P., Alves, B. J. 2014. Bovine urine and dung deposited on Brazilian savannah pastures contribute differently to direct and indirect soil nitrous oxide emissions. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 190, p. 104–111. Disponível em: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20143253388>
- Lutz, W. K., Winkler, F.K., Dunitz, J.D. 1971. Crystal structure of the antibiotic monensin similarities and differences between free acid and metal complex. *Helvetica Chimica Acta*, v.54, n.4, p.1103–1108.
- Makkar, H.P.S. 2003. Effect and fate of tannins in ruminant animals, adaptation to tannins, and strategies to overcome detrimental effects of feeding tannin-rich feeds. *Small Ruminant Research*, v.49, p.241–256. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0921-4488\(03\)00142-1](https://doi.org/10.1016/S0921-4488(03)00142-1).
- Mazzetto, A. M., Barneze, A. S., Feigl, B. J., Van Groenigen, J. W., Oenema, O., Cerri, C. C. 2014. Temperature and moisture affect methane and nitrous oxide emission from bovine manure patches in tropical conditions. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 76, p. 242–248. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.05.026>.
- McGuffey, R.K.; Richardson, L.F.; Wilkinson, J.I.D. 2001. Ionophores for dairy cattle: current status and future outlook. *Journal of Dairy Science*, v.84, p.194–203. Disponível em: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(01\)70218-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(01)70218-4).
- Millen, D.D., Pacheco, R.D.L., Arrigoni, M.D.B., Galyean, M.L., Vasconcelos, J.T. 2009. A snapshot of management practices and nutritional recommendations used by feedlot nutritionists in Brazil. *Journal of Animal Science*. v.87, n.10, p.3427–3439. Disponível em: <https://doi.org/10.2527/jas.2009-1880>.
- Min, B.R.; Barry, T.N.; Attwood, G.T.; McNabb, W. C. 2003. The effect of condensed tannins on the nutrition and health of ruminants fed fresh temperate forages: a review. *Animal Feed Science and Technology*, v.106, p.3–19. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(03\)00041-5](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(03)00041-5).
- Morales, R., Ungerfeld, E.M. 2015. Use of tannins to improve fatty acids profile of meat and milk quality in ruminants: a review. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 75, 239–248. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-583920150002000014>.
- Moreira, F.M.S.; Siqueira, J.O. 2006. *Microbiologia e Bioquímica do solo*. 2. ed. Lavras: UFLA, 729p, Brasil.
- Moss, Angela R.; Jouany, JP; Newbold, J. 2000. Methane production by ruminants: its contribution to global warming. In: *Annales de zootechnie*. EDP Sciences, p. 231–253. Disponível em: <https://doi.org/10.1051/animres:2000119>.
- Mueller-harvey, I. 2006. Unravelling the conundrum of tannins in animal nutrition and health. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v. 86, n. 13, p. 2010–2037. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/jsfa.2577>.
- Ovchinnikov, J.A. 1979. Physico chemical basis of ion transport through biological membranes: ionophores and ion channels. *European Journal of Biochemistry*, v.94, n.2, p.321–336.
- Raposo, S. 2018. *Antibióticos na Produção animal: Restrições à vista?*. Volume 13, número 15, Scot Consultoria.
- Reed, Jess D. 1995. Nutritional toxicology of tannins and related polyphenols in forage legumes. *Journal of animal science*, v. 73, n. 5, p. 1516–1528. Disponível em: <https://doi.org/10.2527/1995.7351516x>.
- Reis, R. A., Ruggieri, A. C., Casagrande, D. R., & Páscoa, A. G. 2009. Suplementação da dieta de bovinos de corte como estratégia do manejo das pastagens. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 147–159. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982009001300016>.
- Ribeiro, V. J., Andrade, F. V., de Souza, C. H. E., & Sa Mendonça, E. 2016. Volatilization of ammonia in stabilized slow-release nitrogen fertilizer under controlled conditions. *Australian Journal of Crop Science*, 10(6), 793–798. <https://search.informit.org/doi/10.3316/informit.323001000986494>.
- Russell, J.B., Strobel, H.J. 1989. Mini-Review: the effect of ionophores on ruminal fermentations. *Applied and Environmental Microbiology*, Washington, v.55, p.1–6.
- S.M. Pedreira, O. Primavesi 2006. Impacto da Produção Animal Sobre o Ambiente. T.T. Berchielli, A.V. Pires, S.G. Oliveira (Eds.), *Nutrição de ruminantes*, Funep, Jaboticabal (2006), pp. 497–511. Disponível em: <file:///C:/Users/User/Downloads/digitalizar0020.pdf>.
- Salman, A.K., Paziani, S.F., Soares, J.P.G. 2006. Utilização de ionóforos para bovinos de corte. Porto Velho: Embrapa Rondônia. Documento 101, 24p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/708265/1/doc101ionoforos.pdf>.
- Scalbert, A. Antimicrobial properties of tannins. *Phytochemistry*, v.30, p.3875–3883, 1991.
- Singh, B. K., Bardgett, R. D., Smith, P., & Reay, D. S. Singh, Brajesh K. 2010. Microorganisms and climate change: terrestrial feedbacks and mitigation options. *Nature Reviews Microbiology*, v. 8, n. 11, p. 779–790. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/nrmicro2439>.
- Sistema De Estimativas De Emissões E Remoções De Gases De Efeito Estufa (SEEG) 2021. Tabela geral de dados Brasil e Estados. Disponível em: <http://seeg.eco.br/download>.
- Sliwinski, B.J.; Soliva, C.R.; Machmüller, K.M. 2002. Efficacy of plant extracts rich in secondary constituents to modify rumen fermentation. *Animal Feed Science and Technology*, v.101, p.101–114. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(02\)00139-6](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(02)00139-6).
- Smith, K. A., Ball, T., Conen, F., Dobbie, K. E., Massheder, J., Rey, A. 2003. Exchange of greenhouse gases between soil and atmosphere: interactions of soil physical factors and biological processes. *European Journal of Soil Science*, v. 54, n. 4, p. 779–791. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/ejss.12539>.
- Stocker, T. F.; Qin, D.; Plattner, G.-K.; Tignor, M. M. B.; Allen, S. K.; Boschung, J.; Nauels, A.; Xia, Y.; Bex, V.; Midgley, P. M. (eds.). 2014. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of IPCC the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press. Disponível em: [10.1017/CBO9781107415324](https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324).
- Waghorn, G. C. 2008. Beneficial and detrimental effects of dietary condensed tannins for sustainable sheep and goat production – progress and challenges. *Anim. Feed Sci. Technol.* 147:116–139. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.09.013>.
- WMO. Greenhouse Gas Bulletin: Another Year Another Record. 2021. Disponível em: <https://public.wmo.int/en/media/press-release/greenhouse-gas-bulletin-another-year-another-record>. Acesso em: 29 ago. 2021.
- Woodward, S.L.; Waghorn, G.C.; Ulyatt, M.J.; Lassek, K.R. 2011. Early indications that feeding Lotus will reduce methane emissions from ruminants. *New Zealand Society of Animal Production*, p.23–26.

Yang, K., Wei, C., Zhao, G. Y., Xu, Z. W., & Lin, S. X. 2016. Dietary supplementation of tannic acid modulates nitrogen excretion pattern and urinary nitrogenous constituents of beef cattle. *Livestock Science*, 191, 148–152. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2016.07.020>.

Zhao, G. Y. 2017. Modulation of protein metabolism to mitigate nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) emission from excreta of livestock. *Current Protein and Peptide Science*, 18, 525–531. Disponível em: <https://www.ingentaconnect.com/content/ben/cpps/2017/00000018/00000006;jsessionid=46ghhwlv2uvej.x-ic-live-01>.

Zotti, C. A.; Paulino, V. T. 2009. Metano na produção animal: Emissão e minimização de seu impacto. *Ecologia de Pastagens, Curso de Pós-graduação em Produção Animal Sustentável*. v. 10, n. 07, p. 2016. Disponível em: <http://www.iz.agricultura.sp.gov.br/pdfs/1259324182.pdf>.