

**UNIVERSIDADE BRASIL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM MEDICINA VETERINÁRIA
CAMPUS FERNANDÓPOLIS**

WINICIUS DA SILVA LIMA

**MEDIDAS NO MANEJO NUTRICIONAL DE BOVINOS DE CORTE
PARA MITIGAR EMISSÕES DE GASES DO EFEITO ESTUFA**

Fernandópolis – SP
2022

CURSO DE GRADUAÇÃO EM MEDICINA VETERINÁRIA

WINICIUS DA SILVA LIMA

MEDIDAS NO MANEJO NUTRICIONAL DE BOVINOS DE CORTE PARA MITIGAR EMISSÕES DE GASES DO EFEITO ESTUFA

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado à Universidade Brasil, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Bacharel em Medicina Veterinária.

Profa. Dra Michele Bernardino de Lima
Orientadora

Fernandópolis – SP
2022

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Bibliotecas da Universidade Brasil,
com os dados fornecidos pelo (a) autor (a).

Lima, Winicius da Silva.

L696m Medidas no manejo nutricional de Bovinos de corte para mitigar
emissões de gases do efeito estufa. / Winicius da Silva Lima. Fernandópolis:
Universidade Brasil, 2022.

32f.: il. color.; 29,5cm.

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado à Banca Examinadora
da Universidade Brasil – Campus Fernandópolis, para obtenção do título
de Bacharel em Medicina Veterinária.

Orientador: Profa. Dra. Michele Bernardino de Lima.

1. Confinamento. 2. Gado Corte. 3. Metano. 4. Nutrição. 5.
Sustentabilidade. I. Título.

CDD 636.2085



ATA DE DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Ao 02º dia do mês de dezembro de 2022, sob presidência da **Profa. Dra. Michele Bernardino de Lima**, em sessão pública, reuniram-se de modo presencial na Universidade Brasil Campus Fernandópolis, Estrada Projetada F1, Faz. Santa Rita, a Comissão Examinadora do Trabalho de Conclusão de Curso de **WINICIUS DA SILVA LIMA**, aluno regular e matriculado no curso de Medicina Veterinária, do Campus Fernandópolis/SP.

Iniciando os trabalhos, o candidato apresentou o Trabalho de Conclusão de Curso intitulado **MEDIDAS NO MANEJO NUTRICIONAL DE BOVINOS DE CORTE PARA MITIGAR EMISSÕES DE GASES DO EFEITO ESTUFA**. Terminada a apresentação, procedeu-se o julgamento da prova onde verificou-se que o candidato foi APROVADO pela banca examinadora abaixo constituída. Do que constar, lavrou-se a presente ATA que segue assinada pelos Senhores Membros da Comissão Examinadora e pelo Supervisor de Estágios e de Trabalho de Conclusão do Curso de Medicina Veterinária.

M.V. Marcela Rosalém
Membro Examinador

Profa. Ma. Ana Lúcia Borges de Souza Faria
Membro Examinador

Profa. Dra. Michele Bernardino de Lima
Presidente da Banca (orientadora)

Profa. Dra. Beatrice Macente
Coordenadora do Curso de Medicina Veterinária
UNIVERSIDADE BRASIL
Fernandópolis – SP

RESUMO

No Brasil, as pastagens desempenham importante papel na alimentação dos bovinos. Porém, o sistema de criação extensivo é severamente criticado por contribuir com o aumento da emissão de gases de efeito estufa, principalmente o metano (CH₄), proveniente da fermentação entérica e dos dejetos orgânicos. A produção deste gás torna-se um problema não somente ambiental, mas também produtivo, pois sua formação implica em reduções da eficiência energética da dieta, problema este que é acentuado devido ao tipo de gramíneas cultivadas no país, e à estacional idade de produção, reduzindo a produtividade e qualidade das pastagens durante a época seca. A combinação destes fatores diminui a digestibilidade da fibra, reduzindo o aporte de nutrientes disponíveis para os animais e, conseqüentemente, seus índices zootécnicos, resultando em baixa produtividade por unidade de área e baixos índices reprodutivos. Levando-se este cenário em consideração objetivou-se com esta revisão de literatura, apresentar técnicas capazes de minimizar estes efeitos, tendo como base a adoção de diferentes práticas de manejo das pastagens e estratégias nutricionais para os animais, visando melhorar a qualidade do pasto, a produtividade animal e, conseqüentemente, reduzir o impacto do CH₄ sobre este sistema.

Palavras-chave: Confinamento. Gado de corte. Metano. Nutrição. Sustentabilidade.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Efeito da qualidade do alimento sobre as emissões de metano de novilhos Hereford (24 meses de idade e 380 kg de peso vivo) em condições não limitantes de disponibilidade de MS verde. Simulações feitas utilizando o GrazFeed v.5.02.....	20
Tabela 2 - Efeito de mudanças nas eficiências de crescimento microbiano (Y ATP) sobre a relação proteína/energia e AGV disponível no rúmen de um novilho alimentado com 4,0 kg de MO totalmente fermentável (Preston, 1998).....	23
Tabela 3 - Visão geral das medidas viáveis de mitigação do manejo alimentar e seu potencial de redução de gases de efeito estufa (metano (CH ₄), óxido nitroso (N ₂ O) e amônia (NH ₃) em gado leiteiro e de corte (excluindo potenciais sinergias ou trade-offs).....	26

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
2 OBJETIVO	11
3 REVISÃO DE LITERATURA	12
3.1 EMISSÕES DE GASES EFEITO ESTUFA (GEE) NO BRASIL.....	16
3.2 AS INFORMAÇÕES DO SEGUNDO INVENTÁRIO BRASILEIRO DAS EMISSÕES E REMOÇÕES.....	16
3.3 ESTRATÉGIAS EXTRÍNSICAS PARA MITIGAÇÃO DAS EMISSÕES.....	18
3.4 EXTRATEGIAS INTRÍNICAS PARA MITIGAÇÃO DAS EMISSÕES.....	22
3.4.1 INCLUSÃO DE IONÓFOROS.....	24
3.4.1 INCLUSÃO DE LIPÍDEOS.....	24
3.4.3 INCLUSÃO DE 3-NITROOXIPROPANOL.....	25
3.4.4 ALTERAÇÃO NAS CARACTERÍSTICAS DAS PASTAGEM.....	25
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	27
REFERÊNCIAS.....	28

1 INTRODUÇÃO

A pecuária de corte é um dos setores mais importantes do agronegócio brasileiro, representado por 913,14 bilhões de reais do Produto Interno Bruto (PIB) em 2021. O Brasil possuía o segundo maior rebanho bovino do mundo, estimado em 214,69 milhões de cabeças, sendo o maior exportador de carne bovina, com mais de dois milhões de toneladas carcaça equivalente (TEC) por ano, e o segundo maior produtor de carne, com nove milhões de TEC por ano, valor que representa 13,66 % da produção mundial (ABIEC, 2022), ocupando assim uma posição de destaque na indústria pecuária mundial.

O sistema de produção de bovinos a pasto é considerado o mais representativo no país, com aproximadamente 158,6 milhões de hectares de pastagens (naturais e plantadas), o que corresponde a 45% do total de terras utilizadas na produção agropecuária (IBGE, 2018). Desses, o volume total de abate nacional, 87,4% corresponde aos animais oriundos de pastagens. Esse sistema de produção baseia-se, quase na sua totalidade, no uso de forrageiras tropicais com os índices médios: taxa de ocupação de 1,32 cab/ha, taxa de lotação de 0,93 UA/ha e idade ao abate de 36 meses (ABIEC, 2019).

No entanto, esse cenário da pecuária extensiva nacional é duramente criticado por contribuir para as emissões de gases de efeito estufa (GEE), principalmente metano (CH_4), monóxido de carbono (CO), óxido nitroso (N_2O) e óxidos de nitrogênio (NO_x) (BOEIRA ET AL., 2001). O CH_4 se destaca dentre os outros gases como fonte de maior emissão para a pecuária em escala global, no qual é produzido via fermentação entérica e fermentação dos dejetos orgânicos (USEPA, 2000), possuindo capacidade de captar 23 vezes mais calor quando comparado ao CO_2 (BERNDT, 2010). Ainda segundo dados do IPCC (2014), analisando as emissões não CO_2 , a fermentação entérica de ruminantes é a principal emissora e responsável por cerca de 30 a 40% das emissões agropecuárias, seguida pela emissão dos dejetos depositados em pastagens, sendo esta responsável por 15% das emissões agropecuárias.

Segundo Berchielli et al. (2012), o rebanho bovino brasileiro é responsável por aproximadamente 3,3% do CH_4 produzido mundialmente pelas atividades humanas, ou seja, 11,3% do CH_4 entérico produzido no mundo. Entretanto, quando comparamos o desempenho dos dez maiores exportadores de carne bovina do mundo, entre 1988

e 2007, o Brasil apresentou as maiores taxas de crescimento nas estimativas anuais de emissão de CH₄ (2,12% ao ano); no entanto, a pecuária de corte brasileira também apresentou a maior taxa de crescimento da produção de carne bovina (4,01/ano), resultando no maior valor negativo (-1,82/ano) do aumento líquido da taxa de emissões de CH₄ por unidade de produto (kg de metano/kg de carne bovina) quando comparado a outros países. Portanto, esses dados sugerem que as emissões de CH₄ por unidade de produto diminuíram até 29,4% no Brasil durante esses 20 anos, enquanto no mesmo período aumentou em 1,9% na União Europeia (MILLEN ET AL., 2011).

O CH₄ produzido através da metanogênese e da fermentação de dejetos não está relacionado somente aos problemas ambientais, mas também a fatores relacionados à perda de eficiência na produtividade animal (MOUMEN ET AL., 2016). O acúmulo de H⁺ inibe os sistemas enzimáticos (NADH + H⁺ ↔ NAD⁺) e a regulação do pH ruminal. Dessa forma, há necessidade de drenar as moléculas de H₂ produzidas, sendo a produção de CH₄ a principal via (KOZLOSKI, 2011). Desse modo, a metanogênese é um processo natural, intrínseco aos ruminantes e essenciais para o metabolismo ruminal. Portanto, a metanogênese está diretamente relacionado com a eficiência da fermentação ruminal e representa perda de energia para o sistema, interferindo no desempenho animal.

Acredita-se que o incremento da qualidade da alimentação e a alteração na população de microrganismos permitem maior retenção de energia, diminuindo as perdas por CH₄, proporcionando melhor desempenho animal e menor produção de CH₄ por unidade de produto (BERNDT, 2010). As emissões de CH₄ provenientes da fermentação ruminal dependem de alguns fatores como: o animal, nível de ingestão de alimentos, quantidade de grãos na dieta, tipos de carboidratos presentes, tamanho da partícula, da digestibilidade dos alimentos e adição de aditivos (COTTLE ET AL., 2011). A quantidade de produção de CH₄ se estende a características próprias dos bovinos, e pode estar relacionado às diferenças características dos animais, tais como volume do rúmen, capacidade de seleção de alimentos, tempo de retenção dos alimentos no rúmen e as associações de fatores que conduzem a maior ou menor capacidade de digestão da fibra dos alimentos (LASSEY, 2002).

Dietas contendo maiores proporções de concentrado levam a menor pH ruminal do que dietas que contenham maior percentagem de forragem, diminuindo assim a proporção acetato: propionato, o que altera quantidade de H₂ disponível no rúmen,

devido à baixa produção deste pelas bactérias amilolíticas e pela intolerância das arqueas metanogênicas ao pH baixo (VANS KESSEL & RUSSEL, 1995).

Portanto, para diminuir a participação da bovinocultura de corte no aquecimento da temperatura global é necessário o aumento da produtividade e tecnologias aplicada. Desse modo, esse capítulo apresentará alternativas que visem a mitigação de CH₄ com o objetivo de melhorar a eficiência de bovinos em sistema de pastejo e reduzir impactos ambientais causados pela bovinocultura de corte.

2 OBJETIVO

Apresentar pontos estratégicos e importantes na mitigação de GEE em bovinos criados a pasto, por meio de uma revisão bibliográfica.

3 REVISÃO DE LITERATURA

A queima de combustíveis fósseis é a principal fonte de emissões de CO₂, enquanto nas atividades agropecuárias ocorrem as liberações de CH₄ e N₂O. Das emissões anuais de GEE em todo mundo, 18% das emissões são relacionadas a pecuária, e 21 a 25% de gás metano são provenientes da agricultura e fermentação entérica (ALMEIDA et al., 2015).

As atividades agropecuárias geram emissões diretas e indiretas de GEE por diversos processos, como: fermentação entérica nos herbívoros ruminantes (CH₄), produção de dejetos de animais (CH₄ e N₂O), preparo convencional do solo (CO₂), queima de resíduos agrícolas (CO₂, CH₄, N₂O, entre outros), emissão de N₂O em solos pelo uso de fertilizantes nitrogenados, queima pelo consumo de combustíveis fósseis (CO₂) na produção e no transporte de produtos agrícolas e utilização de insumos que, para sua produção, demandam elevado consumo de energia na sua industrialização (fertilizantes, herbicidas, fungicidas) (MAPA, 2012). Os gases NH₄ e N₂O possuem maior potencial que o CO₂ para o aquecimento global, referindo-se à capacidade de retenção da radiação solar (COTA, 2013), entretanto a contribuição relativa deles é menor (14%, NH₄) (8%, N₂O) em relação ao CO₂ (76%), devido à alta quantidade desse último na atmosfera (BERNDT et al., 2010).

Segundo Barioni et al. (2007) o aumento da taxa de natalidade de 55 para 68%, a redução na idade de abate de 36 para 28 meses e a redução na mortalidade até 1 ano, permitiria que em 2025 as emissões de metano em relação ao equivalente de carcaça produzida fossem reduzidas em 18%. Isso seria possível mesmo com o aumento estimado em 25,4% na produção de carne. Ou seja, toda ação que melhore a eficiência do sistema de produção e diminuição do ciclo produtivo reduz proporcionalmente a emissão de metano durante o ciclo de vida (MOSS E GIVENS, 2002), como o cruzamento industrial (exemplo meio sangue Angus-Nelore), segundo Dias et al. (2015) proporciona aumento do ganho de peso diário em relação à animais da raça Nelore, resultando assim em menor tempo até o abate. Aditivos nutricionais, adubação de pastagens, melhoramento genético, indiretamente também resultam em benefício do ponto de vista do balanço de GEE na produção de carne.

O sistema de produção brasileiro de carne e leite é predominantemente fundamentado em modo de criação extensiva de ruminantes, sendo caracterizado por extrema dependência do uso de grandes áreas para a produção a pasto. A criação

basicamente extensiva resulta em significativa maximização do potencial de emissão de gás do efeito estufa CH₄. O bovino ingerindo alimentos de pouco valor nutricional o que proporciona baixa eficiência alimentar e menor desempenho do mesmo (ALMEIDA et al., 2015), devido ao baixo aproveitamento de energia pelos animais, resultando em menor eficiência econômica (BERNDT et al., 2010).

Além da baixa produtividade das pastagens no Brasil, outro fator que demanda preocupação é a degradação do solo, ambos devido a grande maioria dos produtores não adotarem a adubação corretiva e manejo racional do pasto. O país em questão possui uma produção animal instalada principalmente de pastagens nativas, a qual possui valor nutritivo de baixa qualidade e muita facilidade de ser degradado.

Segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), Cordeiro et al., (2011), o Brasil possui cerca de 30 milhões de hectares de pastagens que estão em algum grau de deterioração, ou seja, áreas com baixo poder produtivo. As pastagens produtivas possuem potencial para armazenar uma quantidade de carbono no solo em níveis que chegam a ser superiores ao naturalmente existente em solo com áreas de vegetação nativa. Por outro lado, quando o manejo não é feito corretamente, a pastagem vai perdendo o vigor, entra em degradação e o solo passa a perder carbono, ocorrendo emissão de CO₂ para a atmosfera (BERNDT et al., 2010).

O principal sistema de manejo adotado no Brasil é o extensivo, o qual segundo Silva et al. (2010) resulta em pastejo inadequado (superpastejo ou subpastejo), contribuindo assim para a degradação das pastagens, que como consequência, diminui o potencial de retenção do carbono produzido pela pecuária.

Conforme Cordeiro et al., (2011), a forma de manejo extensivo contribui também com a emissão de gás metano devido à baixa qualidade das forrageiras. Assim, algumas estratégias podem ser adotadas como a integração lavoura-pecuária, a qual pode ser uma alternativa à reforma de pastagem considerando o alto custo. Outro método é o pastejo rotacionado, que contribui para a maior persistência da forragem e favorece a colheita do pasto sempre de melhor qualidade pelos animais, bem como a técnica de reposição de fertilidade para o solo, esta última também é de menor custo comparado a reforma, o qual possibilita maior produtividade por área, manutenção da qualidade e persistência da forrageira.

Outro ponto importante é a sazonalidade de produção de pastagem, que consiste em um fator determinante nos baixos índices de ganhos de peso na produção de bovinos criados a pasto, pois caso não se adotem estratégias nutricionais os

animais ganham peso na época de maior incidência luminosa e perdem peso no período de menor incidência (SILVA et al., 2009; SILVA et al., 2014). Lemos et al. (2012) também relatou essa estacionalidade produtiva das forrageiras tropicais resultando em alterações de qualidade e quantidade, mas apresentou que outros fatores também podem interferir tanto na produção, quanto nos valores nutricionais presentes nas forrageiras, como pressão de pastejo, adubação corretiva das pastagens e espécies de gramíneas.

Diante disso, uma estratégia que pode ser adotada é a suplementação com minerais acrescidos de alimentos proteicos e energéticos, sendo a base alimentar as pastagens nativas e cultivadas. Existe uma variação de ingredientes que podem compor os concentrados, e a sua escolha depende da característica regional, quanto à disponibilidade e também aos déficits de energia e proteína a serem complementados na dieta, correlacionados ao custo x benefício.

Considerando que o concentrado representa um alto custo para a produção de bovinos, a escolha dos alimentos que o compõem deve ser racional, a fim de otimizar a produção sustentável, do ponto de vista ambiental e econômico. Com esse sistema ocorre melhor ganho de peso, devido à redução dos efeitos da sazonalidade, e possibilita a expressão máxima do potencial genético dos animais em relação ao sistema extensivo, no qual os animais se alimentam exclusivamente de pasto (LEMOS et al., 2012).

A suplementação mineral, se adotado durante o ano todo, proporciona também maior desempenho mesmo em épocas de maior produção de forragem, por permitir uma expressão considerável do potencial genético dos animais, e aumento na taxa de lotação. Dias et al. (2015) observou que a correta suplementação permite bons resultados à animais não castrados criados a pasto, quanto às características de carcaça, que normalmente são de baixa qualidade, sendo um ponto importante ao considerar que o ganho de peso desses animais tende a ser superior aos castrados. Segundo EMBRAPA (2011), a adição de concentrado na dieta animal tem relação direta à redução de energia convertida em metano, devido ao aumento de carboidratos não fibrosos (amido e açúcares) em relação aos carboidratos fibrosos (celulose e hemicelulose).

A fermentação microbiana de carboidratos e proteínas para obtenção de energia pelas bactérias ruminais leva a produção de ácidos graxos de cadeia curta (AGCC): ácido acético, propiônico e butírico, principalmente acético quando se trata

das metanogênicas (BERNDT et al, 2010; ALMEIDA et al., 2015). A produção de CH_4 faz parte do processo de digestão normal em ruminantes, e ocorre no pré-estômago rúmen, o qual resulta em excesso de hidrogênio (H_2), que é utilizado na formação da amônia (NH_3), esqueleto de carbono (COTA, 2013), e se transformam em CH_4 pelos microrganismos metanogênicos devido a reação com o CO_2 (ALENCASTRO FILHO, 2016). Por outro lado, processo que resulta na produção de ácido propiônico, há “captura” de H_2 do meio, em uma relação inversa entre propionato e o metano. A formação de CH_4 pode representar 14% da energia digestível consumida, por isso, além da importância do ponto de vista ambiental, esse gás resulta em desperdício afetando negativamente o desempenho animal (BERNDT et al, 2010). Os principais fatores que contribuem para emissão de CH_4 pelos ruminantes são o nível de consumo de ração; tipo de carboidrato; e alteração da microflora ruminal (ALENCASTRO FILHO, 2016).

O pH ótimo para a atividade dos microrganismos produtores de metano é 7,0 a 7,2, mas a produção do gás pode ocorrer no intervalo de 6,6 a 7,6 (COTA, 2013). No entanto, abaixo desses valores, as atividades das bactérias metanogênicas e protozoários ciliados diminuem, tal situação é obtida com a maior proporção de carboidratos solúveis à carboidratos fibrosos, resultando em aumento do propionato (BERNDT et al, 2010).

Dietas a base de pastagens estimulam a proliferação de bactérias celulolíticas, que degradam a celulose da parede celular da forragem, principalmente em estágio de maturidade avançado, obtendo predominantemente como produtos finais da fermentação o acetato, butirato e dióxido de carbono (CO_2). Em contrapartida dietas com maiores proporções de concentrado a base de grãos, proliferam-se bactérias aminolíticas, produzindo maiores quantidades de propionato e menores quantidades de CO_2 que é um dos principais precursores de metano, desse modo, dietas que favorecem a produção de CO_2 , possuem maiores potenciais para emissão de metano (COTA, 2013). A produção de metano também é influenciada pelo tipo de forragem pastejada, sendo consideravelmente menor em pastagens leguminosas em comparação às gramíneas, processamento físico, como forragens ensiladas também proporcionam menor formação do mesmo (CORDEIRO et al., 2011). Forragens que diminuem a taxa de ingestão ou prolongam a permanência no rúmen aumentam a produção de metano (BERNDT et al, 2010).

A proporção final de Ácidos Graxos Cadeia Curta (AGCC), resultando (ácido acético, ácido propiônico, ácido butírico) produzidos, variam em função da dieta ofertada. Desta forma, dietas a base de pastagens, principalmente com maior proporção de colmo, proporcionam a formação de maiores quantidades de ácido acético, cerca de 65%, com ácidos propiônico (20%) e butírico (12%). Enquanto dietas a base de concentrados com menores quantidades de fibra a proporção de ácido propiônico aumenta para 40% e o ácido acético diminui para 37% (COTA, 2013).

Segundo Cordeiro et al., (2011) a redução na produção de metano algumas vezes só é evidenciada em dietas com alta proporção de concentrado (80%), a qual não é interessante devido ao ambiente propício do Brasil para a produção de bovinos a pasto. Possivelmente isso ocorre devido à pouca quantidade de concentrado disponibilizar energia para os microrganismos degradarem a fração fibrosa, e assim, em alguns casos pode não haver diferença entre animais suplementados e não suplementados. Mesmo que não tenha a diferença, em alguns casos na redução direta de metano, a suplementação a pasto deve ser considerada uma estratégia por aumentar a produtividade por área e favorecer a eficiência animal, como já descrito.

3.1 EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA (GEE) NO BRASIL

O rebanho bovino do Brasil foi estimado no último Censo Agropecuário em cerca de 170 milhões de cabeças ocupando pouco mais de 172 milhões de hectares (IBGE, 2006).. Os efeitos colaterais causados pela bovinocultura estão correlacionados com o principal meio de poluição atmosférica no Brasil, sendo o sistema extensivo com baixa adoção de tecnologias. Este se caracteriza pelo baixo investimento em formação (principalmente quando a terra adquirida já contém algum tipo de pasto) e manutenção de pastagem. Este sistema pode gerar degradação de ecossistemas ambientais, do solo e poluição dos recursos hídricos. Existe, entretanto, outra externalidade negativa de grande destaque gerada pela atividade pecuária: as emissões de GEE. Com o aumento da preocupação mundial com o aquecimento global, esse assunto tem sido destaque na mídia.

3.2 AS INFORMAÇÕES DO SEGUNDO INVENTÁRIO BRASILEIRO DAS EMISSÕES E REMOÇÕES

Antrópicas de Gases de Efeito Estufa (MCT, 2010) indicam que em 2005 a agropecuária foi responsável por 19,7% enquanto a mudança no uso da terra respondeu por 60,8% das emissões nacionais. Dentro do setor agropecuário o CH₄ representa aproximadamente 62%, o N₂O 34% e outros gases 4% das emissões, em equivalentes de CO₂. De todo o Metano emitido pela agropecuária, 91% tem origem na fermentação entérica e 9% de produções extrínsecas ou indireta. Entre as categorias de produção, 85% vêm do rebanho de corte, 12% do rebanho leiteiro e 3% de outros ruminantes. A fermentação entérica responde, portanto por aproximadamente 11% das emissões nacionais.

A emissão entérica de metano, processo natural e intrínseco aos ruminantes, tende a acompanhar o crescimento do rebanho. No Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de GEE (MCT, 2004), as emissões totais de metano da pecuária foram estimadas em 8,8 teragramas (Tg) de origem entérica. Entretanto, no Segundo Inventário Brasileiro das Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa (MCT, 2010) indicaram emissões de metano de origem entérica de 12 Teragramas, um acréscimo de 36%. No mesmo período de 1995 a 2005 o rebanho brasileiro subiu de 160 milhões de cabeças (Mcab) para 207 Mcab (+68%) e as exportações de carne subiram de 400 mil toneladas de equivalente carcaça (T-EC) para 1.900 mil T-EC (+600%). Estes valores indicam que a pecuária brasileira cresceu em número absoluto de cabeças, mas também que houve significativo avanço técnico na produção de carne.

No Brasil, na década de 90, foram realizados os primeiros trabalhos com animais para determinação das emissões de metano, existindo poucos trabalhos publicados com resultados de experimentos envolvendo bovinos de corte, tanto em confinamento (Pedreira et al., 2004; Nascimento, 2007; Oliveira et al., 2007; Possenti et al., 2008; Berchielli et al., 2012) como em pastejo e com gado de leite (Primavesi et al., 2004; Pedreira et al., 2009). Esses estudos são de grande relevância por terem produzido dados divergentes dos valores de referência do IPCC (1996), contribuindo para estimativas mais realistas da pecuária brasileira. De acordo com Berndt (2010), em revisão sobre trabalhos realizados no Brasil, a média obtida para emissão de metano de machos bovinos de corte é de 51,5 kg/animal/ano.

Quando considerado todas as categorias animais, Primavesi et al. (2012), relatam uma média de 39 kg de metano/animal/ano e, para bovinos leiteiros relatam 65 kg de metano/animal/ano.

Estudos com ruminantes demonstram que a emissão de metano depende da quantidade de alimento ingerido e da qualidade da dieta, sendo que, geralmente, dietas com elevada digestibilidade proporcionam maior consumo com menor emissão de metano por unidade de alimento ingerido, do que dietas de baixa qualidade (Pedreira et al., 2004). Além da qualidade da dieta, fatores intrínsecos aos animais, como suas características genéticas e a microbiota ruminal interferem na emissão de metano entérico (Hammond et al., 2008).

Possibilidades e estratégias para mitigação das emissões de metano em ruminantes o leque de possibilidades para diminuir as emissões de gases de efeito estufa é ampla e inclui estratégias indiretas que operam em nível do sistema de produção e/ou estratégias diretas que operam em nível das fontes de emissão.

3.3 ESTRATÉGIAS EXTRÍNSICAS PARA MITIGAÇÃO DAS EMISSÕES

Melhoras na eficiência de produção através de melhoramento genético dos animais e/ou através da otimização das dietas, tendem a diminuir as emissões de metano por unidade de produto gerado. Os principais fatores que afetam a emissão de metano são o tipo de animal e as características nutricionais da dieta tais como o consumo e a digestibilidade, as quais determinam que aproximadamente 6% da energia consumida seja perdida na forma de metano. A produção de metano responde linearmente a aumentos no consumo de MS, sendo que para dietas com alta concentração de grãos ou a base de forragens tropicais tem-se observado taxas de incremento de 27 e 34 g de metano/kg de MS consumida, respectivamente.

Recentemente tem-se proposto a identificação e seleção de animais mais eficientes utilizando o conceito de consumo de alimento residual (CAR), definido como a diferença entre o consumo de energia metabolizável e as exigências de energia metabolizável para manter e ganhar peso. Em termos práticos um CAR positivo significa que o consumo de energia do animal excede seus requerimentos de crescimento. Quando o CAR é negativo significa que o animal precisa de menos energia da que foi estimada ou que está consumindo menos alimento para ter o mesmo ganho de peso. Alguns autores têm sugerido que animais com CAR baixo ou negativo apresentam emissões de metano entre 5 a 15% menores do que animais com CAR maiores ou positivos (Pedreira et al., 2004). Nkrumah et al. (2006) trabalhando com 27 novilhos alimentados com dietas de confinamento e selecionados

para alto, médio e baixo CAR, encontraram que a produção de metano nos animais com baixo CAR foi 28 e 24% menor do que os animais com alto e médio CAR. Segundo estes autores a maior parte da variação no CAR apresentada pelos animais pode ser explicada pelas diferenças na digestibilidade, produção de metano, produção de calor e retenção de energia. O planejamento de estratégias de cruzamento para selecionar animais por baixo CAR permite uma significativa redução nas emissões de gases de efeito estufa (por dia e por unidade de desempenho), devido principalmente a diminuição no consumo de alimento sem comprometer o desempenho dos animais.

Quando o consumo de ovinos e bovinos aumentou para duas vezes a produção de metano aumentou e a quantidade de energia perdida na forma de metano por unidade de alimento consumido diminuiu entre 12 e 30% (NKRUMAH et al., 2006). De forma geral, é possível afirmar que características da dieta que diminuem a taxa de degradação ou aumentam o tempo de retenção ruminal incrementam a quantidade de metano produzido por unidade de dieta consumida. Por outro lado, as emissões de metano apresentam uma relação curvilínea com a produtividade (ganho de peso e produção de leite) uma vez que o consumo de nutrientes para manutenção (produção de metano associada) é diluído a medida que aumenta a produtividade. Pode-se inferir, então, que aumentos da eficiência de produção poderão trazer como consequência redução nas emissões de metano por unidade produto gerado.

A proposta de diminuir a emissão de gases através do aumento da produtividade de ruminantes em pastejo carrega implicitamente o risco de que aumentos em produtividade, via de regra, significam aumento no número de animais. Segundo Howden e Reyenga (1999), a introdução de gado Brahman no norte da Austrália junto com a utilização de leguminosas e suplementação proteico-mineral permitiram aumentar tanto o número de animais como o consumo de pasto por animal, porém resultaram em degradação das pastagens, queda das reservas de carbono na biomassa vegetal e perda de carbono do solo.

Esta última perda tem um impacto, em termos da emissão de gases de efeito estufa, muito superior ao efeito da produção de metano. Sistemas conservativos de produção em pastejo, característicos da suplementação, diminuem a emissão líquida de gases por unidade de produtividade, aumentam a biomassa de pasto e as reservas de carbono no solo (Howden et al., 1994).

Tabela 1 - Efeito da qualidade do alimento sobre as emissões de metano de novilhos Hereford (24 meses de idade e 380 kg de peso vivo) em condições não limitantes de disponibilidade de MS verde. Simulações feitas utilizando o GrazFeed v.5.0m2

	Qualidade da pastagem		
	Baixa	Média	Alta
Digestibilidade (%)	52	55	60
Proteína bruta (%)	7,5	9,0	10
GMD (g/dia)	60	310	610
Consumo MS (kg/dia)	8,7	9,7	10,3
Consumo EM (MJ/dia)	65	82	98
Metano (g/dia)	195	226	242
Metano (MJ/dia)	10,8	12,5	13,4
g Metano/g de ganho peso	3,25	0,73	0,40
Metano (% Consumo EM)	17	15	14

FONTE : ESCOBAR,L.F

No Brasil, alguns estudos tem mostrado que o uso de pastagens e do sistema plantio direto (PD) durante 5 a 6 anos promoveram um influxo líquido entre 600 e 800 toneladas de C-CO₂/ha/ano na camada de 0-20 cm do solo, comparado ao solo sob cerrado nativo e preparo convencional, demonstrando um grande potencial para remoção de CO₂ atmosférico (Bayer et al., 2000). Neste sentido, o Brasil tem um enorme potencial na drenagem mundial de CO₂ devido a existência de grandes áreas em pastagem (aproximadamente 158 milhões de hectares), grandes áreas nas quais e usado o plantio direto (12 milhões de hectares) e sistemas de produção agrícola em rotação e com incorporação de resíduos agrícolas.

A adição de resíduos de leguminosas ao solo, em sistemas de manejo que incluem este tipo de plantas como cobertura de inverno, estimula a atividade microbiana, aumentando consequentemente as emissões de N₂O (Gomes et al., 2009). No período após o manejo das plantas de cobertura, as emissões de N₂O estiveram relacionadas com a adição de N₂O, já no período subsequente as emissões foram relacionadas com os estoques de N total do solo (Gomes et al., 2009). Sistemas agrícolas sob PD com inclusão de leguminosas na rotação de culturas tem potencial de acúmulo de carbono (C) e representam diminuição do uso de combustível fóssil. O acúmulo de C sob PD pode ser ainda maior quando associado a sistemas de integração lavoura-pecuária e o adequado manejo das pastagens, leva a aumento dos

estoques de C e a redução das emissões de CO₂ para a atmosfera (Carvalho et al., 2009).

Outro aspecto importante é o fato da mata nativa ou estabelecida sequestrar grandes quantidades de carbono o que justifica sua manutenção nos sistemas conservativos de produção. O crescimento da mata como consequência de distúrbios ecológicos ocorridos em áreas de pastejo na Austrália permitiu sequestrar entre 1,5 e 3,0 ton CO₂/ha/ano que equivale a 1,5 a 3,0 vezes a emissão direta de bovinos de corte pastando na mesma área (HOWDEN et al., 1994). Apesar da mata diminuir a disponibilidade e o potencial produtivo das pastagens e possível utilizar espécies que, além de apresentar potencial forrageiro, contribuam ao sequestro de CO₂.

Então, os sistemas de produção conservacionistas (plantio direto, baixas taxas de lotação, áreas com pouco desmatamento, etc) podem contribuir significativamente a reduzir a emissão de gases, além de dirimir a degradação do solo e das pastagens, melhorando a sustentabilidade dos sistemas de produção em pastejo.

Segundo Howden e Reyenga (1999), em níveis ótimos, poderia se produzir, a pasto, 2 kg de peso vivo para cada kg de metano emitido do sistema como um todo, equivalendo este valor a 7 kg de CO₂ por dólar produzido como ganho de peso vivo. O autor afirma ainda sua preocupação de que em um mercado livre, onde existam cotas de emissão de metano e CO₂ por unidade produtiva, a eficiência dos sistemas pecuários não seja capaz de viabilizar economicamente o uso destas cotas, sendo estas facilmente adquiridas pelas indústrias, as quais são capazes de gerar uma maior receita por unidade de poluente produzido.

Apesar de ter sido sugerido que a forma mais eficiente de reduzir as emissões por unidade de produto é através de aumentos na eficiência de produção, também é certo que isto implica em maiores consumos de alimento e, portanto, maiores emissões por animal. Em função disto, a proposta alternativa para reduzir as emissões a nível nacional deverá considerar a possibilidade de manter ou reduzir o tamanho do rebanho bovino e utilizar técnicas que permitam diminuir a emissão por animal. Aparentemente, a primeira alternativa que surge para atingir estes objetivos é o confinamento, porém esta estratégia de manejo pressupõe a utilização de alimentos que incorporam quatro vezes mais emissões do que um animal em pastejo e as emissões totais por kg de ganho equivalem as obtidas por um animal em pastejo ganhando entre 200 e 300 g/dia.

3.4 ESTRATÉGIAS INTRÍSECAS PARA MITIGAÇÃO DAS EMISSÕES

Entre as técnicas disponíveis para diminuir as emissões de metano na fonte, a utilização de suplementos e a incorporação de ionóforos, lipídios, compostos que favoreçam o crescimento de fungos ruminais, substâncias defaunantes (eliminação de protozoários) e/ou substâncias com propriedades anti-metanogênicas são alternativas que podem diminuir tais emissões entre 20 e 40% (GOMES et al., 2009). Todas estas alternativas estão diretas ou indiretamente relacionadas com a otimização do processo fermentativo a nível ruminal.

As condições anaeróbias do rúmen limitam a disponibilidade de ATP para o crescimento microbiano e fazem com que grande parte da energia contida nas pastagens seja retida nos produtos finais anteriormente mencionados. Obviamente, este último ponto é o principal determinante da baixa eficiência de utilização da energia pelos ruminantes em pastejo e qualquer intento para melhorá-la terá que levar em conta os fatores que afetam a eficiência de geração de ATP e a forma como este é utilizado no metabolismo microbiano. A síntese de células microbianas no rúmen é um processo complexo que depende entre outros fatores de: disponibilidade e/ou concentração de precursores para formação do protoplasma microbiano (aminoácidos, peptídeos, enxofre, amônia e minerais), as exigências de manutenção, a taxa de regeneração dos microrganismos e as interações entre os componentes da flora microbiana (ESCOBAR,L.F)

Portanto, uma das formas de aumentar a eficiência de utilização da energia contida nas pastagens é otimizando o ambiente ruminal de modo a aumentar a síntese de células microbianas, aumentar a energia metabolizável e diminuir a produção de metano e calor. Isto significa maximizar a produção de proteína microbiana em relação à produção de AGV. Na Tabela 2 é possível observar que o aumento na eficiência de síntese da proteína microbiana (otimização do ecossistema ruminal) resulta em diminuição da produção de metano e calor e aumento na disponibilidade de energia metabolizável (ESCOBAR,L.F)

As considerações anteriores são particularmente importantes em sistemas de produção de bovinos de corte de países tropicais e subtropicais onde são utilizadas forragens que apresentam, durante certas épocas do ano, deficiências de nutrientes (proteínas e minerais) determinantes da eficiência do ecossistema ruminal. Nestas condições, a produção de metano pode representar 15 a 18% da energia digestível

consumida e a correção destas deficiências pode reduzir a produção a níveis tão baixos, como 7% (PRESTON, 1998). A suplementação estratégica de ruminantes em pastejo para corrigir a possível deficiência de nutrientes para o crescimento microbiano poderá ajudar a reduzir a emissão de metano.

Tabela 2 - Efeito de mudanças nas eficiências de crescimento microbiano (Y_{ATP}) sobre a relação proteína/energia e AGV disponível no rúmen de um novilho alimentado com 4,0 kg de MO totalmente fermentável (PRESTON, 1998)

	(Y_{ATP})			
	8	14	19	25
Síntese proteína microbiana (g/dia)	500	800	1010	1212
AGV (Mj/dia)	41	34	30	26
Metano (Mj/dia)	9,4	8,5	8,0	7,6
Calor (Mj/dia)	6,4	5,1	4,3	3,1
EM(Mj)	61,2	60,7	60,4	60,5
Relação PIE (g proteína/Mj AGV)	12	25	34	47

AGV: ácidos graxos voláteis; MO: Matéria orgânica, EM: Energia metabolizável.

FONTE: PRESTON (1998)

A produção ruminal de metano é diretamente proporcional a concentração de H_2 dissolvida, portanto, tem-se neste ponto da metanogênese uma janela a ser trabalhada a fim de utilizar este H_2 dissolvido para processos produtivos, evitando assim a perda energética e o acesso a estes prótons por parte dos organismos metanogênicos. A disponibilidade de hidrogênio para estes microrganismos pode ser alterada, reduzindo a liberação fosforoclástica de H_2 , promovendo a oxidação do NAD(P)H em reações que não transfiram elétrons para as hidrogenases e promovendo reações não metanogênicas que utilizem H_2 (HEGARTY, 2007).

A diminuição da liberação de H_2 pode ser obtida diminuindo-se o fluxo total da matéria orgânica através da fermentação ruminal, ou pela manipulação do balanço da relação acetato:propionato:butirato, conduzindo-se a fermentações que sejam consumidoras líquidas de prótons (HEGARTY, 2007). A produção de acetil-CoA a partir da descarboxilação do piruvato e o processo que liga a via glicolítica a produção de acetato e butirato, sendo que está é a fonte primária de CO_2 no rúmen e também do H_2 fosforoclástico. Este processo de descarboxilação pode ocorrer por duas vias. A primeira catalisada pela enzima piruvato-oxiredutase transfere prótons e elétrons a

ferredoxina a qual libera H₂ pela ação da enzima hidrogenase. A segunda, por ação da piruvato-formato-liase gera Acetyl-CoA e formato, sendo este último rapidamente degradado pela formato-hidrogenio-liase, liberando H₂ e dióxido de carbono.

Aumentando-se a quantidade de carboidratos solúveis na dieta, altera-se a proporção acetato/propionato e, portanto, a produção de H₂, devido à baixa produção deste pelas bactérias aminolíticas e também devido à baixa tolerância das arqueobactérias metanogênicas a diminuição do pH produzida por esta alteração na dieta (ESCOBAR,L.F)

3.4.1 INCLUSÃO DE IONÓFOROS

A produção de H₂ ruminal pode também ser reduzida pela introdução de ionóforos na dieta (monensina). A monensina diminui a produção de H₂ por três mecanismos concomitantes: reduz o consumo voluntário dos animais e, portanto, reduz o volume total de H₂ produzido, altera a proporção acetato/propionato, pela modulação que exerce sobre a flora ruminal e inibe a liberação do H₂ do formato pela enzima formato-liase. Porém, apresenta também efeitos que podem aumentar a liberação de H₂ como a inibição da hidrogenação dos ácidos graxos e a diminuição da síntese microbiana, o que aumenta a produção total de AGV (ESCOBAR,L.F)

Independentemente da via de produção, a síntese de propionato está em competição direta com a metanogenese pelo hidrogênio disponível e uma relação inversa entre a produção de metano e de propionato tem sido estabelecida. A produção de propionato pode ser aumentada através do uso de ionóforos como a monensina e a lasalocida. Este aumento relativo de produção de propionato causada pela administração de ionóforos, o qual tem sido objeto de inúmeros trabalhos desde sua descoberta, provavelmente seja reflexo do maior crescimento de microrganismos tais como *Selenomonas*, *Succinomonas* e *Megasphaera* os quais não são afetados por concentrações normais destes, enquanto *Ruminococcus* e *Butyrivibrio* tem seu crescimento inibido. Porém, a administração continuada de ionóforos poderia levar a uma adaptação da flora ruminal, cessando assim os efeitos benéficos sobre a metanogenese (HEGARTY, 2007).

3.4.2 INCLUSÃO DE LIPÍDEOS

A síntese de novo de ácidos graxos de cadeia longa (AGCL) é um processo que demanda grandes quantidades de hidrogênio, o qual usa o NADPH, demandando 16 moles de hidrogênio para a síntese de 1 mol de ácido palmítico sintetizado. A

produção microbiana de AGCL pode ser aumentada através da suplementação com metionina, pela alteração da flora ruminal produzida pela monensina ou ainda pelo aumento de lipídeos na dieta. A biohidrogenação de ácidos graxos poliinsaturados é uma reação que demanda grandes quantidades de elétrons do NADH, necessitando que os ácidos graxos sejam absorvidos pela célula bacteriana. Muitos microrganismos, assim como o *Butyrivibrio*, são capazes de hidrogenar os ácidos graxos fornecidos na dieta. O efeito supressivo do fornecimento dietético de gorduras insaturadas sobre a metanogênese é maior do que o explicado pela hidrogenação das duplas ligações destes ácidos graxos. As gorduras insaturadas exercem ainda um efeito tóxico sobre os microrganismos ruminais, incluindo os metanogênicos, sendo este efeito mais importante na redução da metanogênese do que a simples competição pelos hidrogênios.

3.4.3 INCLUSÃO DE 3-NITROOXIPROPANOL

Ainda em pesquisa, o 3-NITROOXIPROPANOL surge com a capacidade de inibir a produção de metano no estômago, transformando-se em compostos naturais e liberados no processo digestivo (DSM,2022). Contem alto potencial na utilização em ruminantes, tornando aditivo antimetanogênico na dieta. (DUVAL.S). Níveis de segurança na utilização deve-se ser estabelecido.

3.4.4 ALTERAÇÕES NAS CARCTERISTICAS DA PASTAGEM

Existem amplas evidências experimentais que compostos químicos tais como saponinas e taninos condensados existentes em algumas plantas podem diminuir as emissões de metano (PUCHALA et al., 2005). Contudo alguns destes compostos também podem prejudicar o consumo e a digestibilidade das dietas. Além disto, ainda precisam ser encontradas formas de fornecimento, principalmente em sistemas pastoris, que garantam o consumo de quantidades adequadas destas plantas para que o controle da metanogênese tome-se operativo.

Medidas de mitigação de gases através da fermentação entérica variam a quantidade produzida por diferentes situações de pecuária. Possíveis níveis de mitigação descrito na tabela 3, desenvolva-se em processo evolutivo.

Tabela 3 - Visão geral das medidas viáveis de mitigação do manejo alimentar e seu potencial de redução de gases de efeito estufa (metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O) e amônia (NH₃) em gado leiteiro e de corte (excluindo potenciais sinergias ou trade-offs).

A medida	Natureza da medida	Potencial de mitigação relatado (% de redução)			Referência
		Entérico CH ₄	N ₂ O	NH ₃	
Eficiência de N-uso	Eficiência de produção		60		(Lanigan et al., 2018)
Adição de ácidos graxos a dietas lácteas	Práticas de alimentação	10.3			(Lanigan et al., 2018)
Nitratos	aditivos alimentares	18–30			(Hristov et al., 2013)
Ionóforos	aditivos alimentares	≤10			(Hristov et al., 2013 ; Kumar et al., 2014)
Compostos bioativos vegetais (taninos)	aditivos alimentares	10–30			(Gerber et al., 2013 ; Kumar et al., 2014)
lipídios dietéticos	aditivos alimentares	10–30			(Hristov et al., 2013 ; Jayasundara et al., 2016 ; Kumar et al., 2014)
Inclusão de concentrado na ração	Práticas de alimentação	10–30			(Hristov et al., 2013 ; Kumar et al., 2014)
Qualidade e manejo da forragem	Práticas de alimentação	10–30			(Hristov et al., 2013 ; van Gastelen et al., 2019)
Proteína bruta dietética reduzida	Práticas de alimentação		10–30	4–73	(Hristov et al., 2013 ; Sajeev et al., 2017 , Sajeev et al., 2018)
3-Nitrooxipropanol	aditivos alimentares	0–60			(Dijkstra et al., 2018a , Dijkstra et al., 2018b)

Fonte: OUATAHAR, LATIFA (2021)

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

É importante reconhecer que o sistema produtivo de animais confinados vem sendo modificado com a adoção de novas tecnologias, através de suplementação intensificada. Há pressão dos mercados consumidores e da sociedade de forma geral para que a produção de carne impacte cada vez menos o meio ambiente.

A utilização de diferentes ferramentas com a intenção de melhorar a eficiência da produção animal traz grande avanço à bovinocultura, contribuindo para a desmitificação que engloba este segmento. Portanto, práticas de manejo e bom planejamento do sistema de produção a ser utilizado, pode-se obter produção mais eficiente, com maior lucratividade e sustentabilidade, principalmente, em relação às perdas energéticas na forma de emissão de gases de efeito estufa.

REFERÊNCIAS

- ABIEC. **Perfil da Pecuária no Brasil**. v.1, p 4-20, 2022. Disponível em: https://www.abiec.com.br/publicacoes/beef-report-2022/#dfliip-df_4284/1
Acesso em: 21 ago. 2022.
- ABIEC. **Perfil da Pecuária no Brasil**. v.1, p 5-35, 2019. Disponível em: <http://www.abiec.com.br/controle/uploads/arquivos/sumario2019portugues.pdf>
Acesso em: 21 ago. 2022.
- ALMEIDA, L. C. et al. **Capítulo 4-Dinâmica da emissão de gases do efeito estufa na produção animal e aspectos mitigadores no sistema agropecuário pelo monitoramento do perfil metabólico animal**. Tópicos especiais em Ciência Animal III, p. 51, 2015.
- ALENCASTRO FILHO, A. **Impactos ambientais da pecuária no Estado de Goiás e o desempenho de diferentes grupos genéticos no confinamento de bovinos**. Goiânia: Pontifícia Universidade Católica (PUC), 2016. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Ciências Ambientais e Saúde, 2016.
- BARIONI, L.G. et al. **A baseline projection of methane emissions by the Brazilian beef sector: preliminary results**. In: GREENHOUSE GASES AND ANIMAL AGRICULTURE CONFERENCE, 2007, Christchurch, New Zealand. Proceedings... Christchurch, 2007.
- BAYER, C. et al. **Effect of no-till cropping systems on soil organic matter in a sandy clay loam Acrisol from Southern Brazil monitored by electron spin resonance and nuclear magnetic resonance**. Soil & Tillage Research, v.53, p.95-104, 2000.
- BERCHIELLI, T.T.; MESSANA, J.D.; CANESIN, R.C. **Produção de metano entérico em pastagens tropicais**. Revista Brasileira de Saúde Produção Animal, v.13, n.4, p.954-968, 2012.
- BERNDT, A. **Impacto da pecuária de corte brasileira sobre os gases do efeito estufa**. In: Embrapa Pecuária Sudeste-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: Simpósio Internacional de produção de gado de corte, Anais. Viçosa, MG: UFV, 2010. p. 121-147., 2010.
- BOEIRA, R. et al. **Estimativa das emissões de gases de efeito estufa provenientes de atividades agrícolas no Brasil**. Embrapa Meio Ambiente-Capítulo em livro científico (ALICE). 2001. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1093853>. Acesso em: 26 de agosto de 2022.
- BUDDLE, B.M. et al. **Strategies to reduce methane emissions from farmed ruminants grazing on pasture**. The Veterinary Journal, v.188, n.1, p.11-17, 2011.

CARVALHO, J.L.N. et al. **Carbon sequestration in agricultural soils in the Cerrado region of the Brazilian Amazon.** Soil & Tillage Research, v.1 03, p.342-349, 2009.

CORDEIRO, L. A. M. et al. **O Aquecimento Global e a Agricultura de Baixa Emissão de Carbono.** Brasília: MAPA/EMBRAPA/FEBRAPDP, v. 1, p. 75, 2011.

COTA, O. L. **Emissão de metano por bovinos Nelore submetidos a diferentes planos nutricionais.** Diamantina: Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), 2013. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, 2013.

COTTLE, D.J.; NOLAN, J.V.; WIEDEMANN, S.G. **Ruminant enteric methane mitigation : a review.** Animal Production Science, v.51, p.491-514, 2011.

DIAS, L. L. R. et al. **Ganho de peso e características de carcaça de bovinos Nelore e meio sangue Angus Nelore em regime de suplementação a pasto.** Arq. Ciênc. Vet. Zool. UNIPAR, Umuarama, v. 18, n. 3, p. 155-160, jul./set. 2015.

DSM . **FAZENDA INTELIGENTE E NÃO PREJUDICIAL AO CLIMA.** V1, 2022.

DISPONÍVEL EM: https://www.dsm.com/latam/pt_BR/solucoes/clima-e-energia/minimizando-o-metano-do-gado.html Acesso em : 07 out 2022

DUVAL,S. et al. **Efeitos do propionato de etil-3-nitrooxi e 3-nitrooxipropanol na fermentação ruminal, abundância microbiana e emissões de metano em ovinos.** Journal of Dairy Science. Vol.97, ed.6 jun2014 Acesso em : <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7398>

ESCOBAR,L.F . et al **Alternativas de Manejo para Mitigar as Emissões de Metano em Ruminantes.** UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil. Disponível em :

<https://www.ufrgs.br/agronomia/materiais/7578360001.pdf>

Acesso em :08/10/2022

GOMES, J. et al. **Soil nitrous oxide emission as affected by long term tillage, crop rotations and fertilization in a subtropical environment.** Soil & Tillage Research, v.1 01, p.36-44, 2009.

HAMMOND, K. L. et al. **The variation in methane emissions from sheep and cattle is not explained by the chemical composition of ryegrass.** Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production, v. 69, p.174-178, 2008.

HEGARTY, R.S. et al. **Cattle selected for lower residual feed intake have reduced daily methane production.** Journal of Animal Science. 85: 1479-1486, 2007.

HOWDEN, S.M.; WHITE, D.H. **Methods for exploring management options to reduce greenhouse gas emissions from tropical razing systems.** Climate Change, v.27, p.49-70, 1994.

HOWDEN, S.M.; REYENGA, P.J. **Methane emissions from Australian livestock:**

Implications of the Kyoto Protocol. Australian Journal of Agricultural Research, v.50, p.1285-1291, 1999.

IBGE 2006. **Censo Agropecuário 2006, Brasil, Grandes Regiões e Unidades da Federação.** Rio de Janeiro, Brazil.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo agropecuário – dados preliminares.** Rio de Janeiro, p.1-108, 2018. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/3093/agro_2017_resultados_preliminares.pdf. Acesso em: 28 ago. 2022.

IPCC, 2014: 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., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. 1996. **Revised IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories: Reference manual.** Cambridge: University Press. p.297

KOZLOSKI, G. V. **Bioquímica dos ruminantes.** Editora UFSM. Santa Maria. v.3, p71-82 2011.

KURIHARA, M. et al. **Methane production and energy partition of cattle in the tropics.** British Journal of Nutrition, v. 81, n. 3, p. 227-234, 1999.

LASSEY, K.R. **Methane emission by grazing livestock: some findings on emission determinants.** In: International symposium, maastricht the Netherlands, NON-CO2 greenhouse gases, Netherlands. Proceedings... Netherlands: Millpress, v. 3. p. 95-100, 2002.

LEMONS, B.J.M. et al. **Terminação de bovinos a pasto.** PUBVET, Londrina, v. 6, n. 32, Ed. 219, art. 1458, 2012.

MCT, 2004 - Ministério da Ciência e Tecnologia. **Brazil's Initial Communication to the United Nations Framework Convention on Climate Change, Brasília, MCT.** 271p., 2004.

MCT, 2010. **Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas por Fontes e Remoções por Sumidouros de Gases de Efeito Estufa não Controlados pelo Protocolo de Montreal - Parte II da Segunda Comunicação Nacional do Brasil.** Disponível em <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/310922.html>. Acesso em: 25/10/2022.

MILLEN, D.D. et al. **Current outlook and future perspectives of beef production in Brazil.** Animal Frontiers, v.1, n.2, p.46-52, 2011.

MOSS, A.R.; GIVENS, D.I. **The effect of supplementing grass silage with soya bean meal on digestibility, in sacco degradability, rumen fermentation and methane production in sheep.** *Animal Feed Science and Technology*. v.97, n.3, p.127-143. 2002.

MOUMEN, A. et al. **The effects of livestock methane emission on the global warming: a review.** *Journal Global Warming*, v. 9, n 2, p.229-253, 2016.

NASCIMENTO, C. F. M. et al. **Methane emissions by Nelore beef cattle consuming *Brachiaria brizantha* with different station of maturation.** In: *Proceedings of the Greenhouse gases and Animal Agriculture Conference*, Christchurch, NZ, november, p. 64-65, 2007.

NKRUMAH, J.D. et al. **Relationship of feedlot feed efficiency, performance and feeding behaviour with metabolic rate, methane, production and energy partitioning in beef cattle.** *Journal of Animal Science*, v.84, p.145-153,2006.

OLIVEIRA, S. G. D. et al. **Effect of tannin levels in sorghum silage and concentrate supplementation on apparent digestibility and methane emission in beef cattle.** *Animal Feed Science and Technology*, v. 135, p. 236–248, 2007.

OUATAHAR, LATIFA. et al. **Modelagem do efeito do manejo alimentar nas emissões de gases de efeito estufa e nitrogênio em sistemas de pecuária.** *Science of The Total Environment*. Vol.776. jul 2021. Disponível em : <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145932>

PEDREIRA, M.S. et al. **Ruminal methane emission by dairy cattle in southeast Brazil.** *Scientia Agricola*, v.66, p.742-750, 2009.

PEDREIRA, M. S. et al. **Produção de metano e concentração de ácidos graxos voláteis ruminal em bovinos alimentados com diferentes relações de volumoso:concentrado.** In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 41, 2004, Campo Grande. Anais... Campo Grande: Embrapa: SBZ, 2004. 1 CD-ROM.

POSSENTI, R. A. et al. **Efeitos de dietas contendo *Leucaena leucocephala* e *Saccharomyces cerevisiae* sobre a fermentação ruminal e a emissão do gás metano em bovinos.** *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.37, n.8, p.1509-1516, 2008.

PRESTON, R. L. **Strategy for the use of implants in beef cattle production.** *Simpósio sobre Produção Intensiva de Gado de Corte*. CBNA. p.22, 1998.

PRIMAVESI, O. et al. **Produção de gases de efeito estufa em sistemas agropecuários, p 239-270.** In: *Estoques de carbono e emissões de gases de efeito estufa na agropecuária brasileira*. Magda A. Lima; Boddey, R. M.; Alves, B. J. R.; Machado, P. L. O. de A.; Urquiaga, S., editores técnicos. – Brasília, DF: Embrapa, 2012. 347 p., 2012.

PRIMAVESI, O. et al. **Técnica do gás traçador SF6 para medição de campo do metano ruminal em bovinos: adaptações para o Brasil.** CD. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste. p.76 (Embrapa Pecuária Sudeste, Doc. 39),2004.

PUCHALA, R. et al. **The effect of a condensed tannin-containing forage on methane emission by goats.** Journal of Animal Science, v.83, p.182-186, 2005.

SILVA, A. L. et al. **Suplementação de bovinos de corte terminados em pastagens tropicais: Revisão.** Revista Eletrônica Nutritime, v. 11, n. 03, p. 3482-3493, Maio/Jun., 2014.

SILVA, F. F. et al. **Suplementação a pasto: disponibilidade e qualidade x níveis de suplementação x desempenho.** Revista Brasileira de Zootecnia, v.38, p.371-389, 2009.

SILVA, L. L. G. G. et al. **Fixação biológica de nitrogênio em pastagens com diferentes intensidades de corte.** Archivos de zootecnia, v. 59, n. 225, p. 21-30, 2010.

SUNDSTOL, F. **Methods for treatment of low quality roughages.** In: KATEGILE, J.A.; SAND, A.N.; SUNDSTOL, F. Utilization of low-quality roughages in Africa. Agricultural University of Norway. Norway: As-NLH, p. 61-80, 1981.

USEPA (United States Environmental Protection Agency). **Evaluating Ruminant Livestock Efficiency Projects and Programs.** Peer Review Draft (p. 48). USEPA: Washington, D.C. (2000).

VAN KESSEL, J.S.; RUSSEL, J.B. **The effect of pH on in vitro methane production from ruminal bacteria.** Proceedings... Conference on Rumen Function v. 23, n. 7, 1995.

VAN SOEST, P.J. **Nutritional ecology of the ruminant.** 2nd ed. New York: Cornell University Press, p.476, 1994.