



LÍGIA FERREIRA DE SOUZA

**MITIGAÇÃO DAS EMISSÕES DE METANO ENTÉRICO
COM PASTAGENS CONSORCIADAS: Estratégia para promover
a sustentabilidade na pecuária**

**LAVRAS – MG
2025**

LÍGIA FERREIRA DE SOUZA

**MITIGAÇÃO DAS EMISSÕES DE METANO ENTÉRICO COM PASTAGENS
CONSORCIADAS: Estratégia para promover a sustentabilidade na pecuária**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Zootecnia, área de concentração em Nutrição e Produção de Ruminantes, para obtenção do título de mestre.

Prof. Dr. Daniel Rume Casagrande

Orientador

Prof. Dr. Bruno Grossi Costa Homem

Coorientador

**LAVRAS – MG
2025**

Ficha de identificação da obra elaborada pelo(a) autor(a) através do Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA.

Souza, Lígia Ferreira de.
MITIGAÇÃO DAS EMISSÕES DE METANO ENTÉRICO COM PASTAGENS
CONSORCIADAS: Estratégia para promover a sustentabilidade na pecuária /
Lígia Ferreira de Souza. 2025.
60 p. : il.

Orientador: Daniel Rume Casagrande
Coorientador: Bruno Grossi Costa Homem

Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade Federal de Lavras, 2025.
Bibliografia.

1. Gropa heterocarpa. 2. Emissão de metano entérico. 3. Pecuária. 4.
Sustentabilidade. I. Casagrande, Daniel Rume. II. Homem, Bruno Grossi Costa. III.
Universidade Federal de Lavras. IV. Título.

LÍGIA FERREIRA DE SOUZA

**MITIGAÇÃO DAS EMISSÕES DE METANO ENTÉRICO COM PASTAGENS
CONSORCIADAS:** Estratégia para promover a sustentabilidade na pecuária

**MITIGATION OF ENTERIC METHANE EMISSIONS WITH GRASS PASTURE
MIXED WITH A FORAGE LEGUME:** A strategy to promote sustainability in livestock
farming

Dissertação apresentado à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Zootecnia, área de concentração em Nutrição e Produção de Ruminantes, para obtenção do título de mestre.

APROVADA em 19 de fevereiro de 2025

Dr. Bruno José Rodrigues Alves EMBRAPA

Dr. Claudia de Paula Rezende CEPLAC

Dr. Dalton Henrique Pereira UFMT

Prof. Dr. Daniel Rume Casagrande

Orientador

Prof. Dr. Bruno Grossi Costa Homem

Coorientador

**LAVRAS – MG
2025**

*A Deus, por iluminar
meus caminhos. Aos
meus pais, Izabel e
Miguel, meu alicerce,
meu exemplo, minha
força e inspiração.*

Dedico

Tudo o que vier a sua mão para fazer, faça-o conforme as suas forças.”

Eclesiastes 9:10

AGRADECIMENTOS

A Deus, grata por tudo até aqui, por quem eu era e por quem eu sou. Por mostrar os caminhos e iluminar os trilhos. Grata pelas pequenas e grandes coisas, por cada ocorrido os quais são minimamente escritos por ti para que eu estivesse aqui.

Aos meus pais, Miguel e Izabel, a razão de tudo. A vocês, que me ensinaram a perseverar diante das dificuldades e acreditar que todas as coisas são possíveis. Em todos os meus passos tem o reflexo do amor e do apoio incansável de vocês. Esta conquista é, sem dúvidas, de vocês também.

Ao meu irmão, Douglas, sou grata pelo amor inesgotável, pelo simples “eu estou indo”, por estar presente em todos os momentos. Às vezes, te agradeço por duvidar, isso me motiva.

Aos meus quatro “minis” pilares da minha vida, Giovanna, Gabriel, Julia e Maria Cecília, sou grata pelo amor incansável, pelo apoio (mesmo que a saudade aperte) e pela alegria. Sou grata por me lembrarem, diariamente, a importância da inocência, da leveza e da felicidade nas pequenas coisas. Vocês são uma parte fundamental do que sou.

À Universidade Federal de Lavras, por tudo que me ofereceu até aqui. Por todas as oportunidades de aprendizado e crescimento. Ao corpo docente por administrar com maestria as disciplinas, recheadas de conhecimento. Ao corpo técnico, que foi capaz de transformar pequenas coisas em grandes resultados.

Aos meus colegas do grupo “Casagrande”, por cada desafio e troca de conhecimento. Em especial, à Luiza, por todo auxílio e comprometimento com as análises.

Aos meus colegas de campo, os quais fizeram em cada coleta uma história. Israel, Wesley, Rodrigo e Gustavo.

Ao professor Daniel, minha sincera gratidão por toda paciência, apoio e orientação ao longo deste mestrado.

Ao Bruno Grossi, obrigada por fazer parte dessa história e por contribuir com o meu desenvolvimento profissional. Pelas reuniões incansáveis no Google Meet, por cada “LIGIAAA” , pelo suporte com as planilhas e, principalmente, por acreditar em mim e incentivar quando eu mesma não sabia o que estava acontecendo.

A toda equipe da estação, em nome da Dr. Claudia por conduzir este experimento, aos colegas de campo (Bala, Caboclo e Diego) e todos os que contribuíram para que este fosse possível.

A banca aqui presente neste momento. Obrigada Bruno, Claudia e Dalton pela disponibilidade e participação.

Aos meus amigos, os que a UFLA me deu, vocês fizeram que Lavras não fosse somente a universidade, mas que, contudo, nos proporcionasse momentos prazerosos e memoráveis.

Aos que estavam presentes no dia 21 de maio, vocês que de forma física mostraram o mais profundo do caráter do ser humano. Ouso a agradecê-los pelo nome, pois de certa forma vocês sempre serão lembrados por uma marca. Mateus Wilson, Rayanne, Antônio, Stefania, Janaina, Natalia, Alice, Pedro e Marcelle, obrigada por todo zelo e carinho que tiveram comigo.

A Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais pela bolsa concedida. Ao CNPq por fomentar esta pesquisa. A CAPES, por ser presente na Zootecnia da UFLA.

A todos que, de alguma forma, fizeram parte dessa trajetória, meu sincero agradecimento.

RESUMO

O metano entérico (CH_4), produzido por ruminantes durante a digestão, é um dos principais gases do efeito estufa emitidos pela agropecuária. O uso de leguminosas em pastagens é uma alternativa sustentável, substituindo a adubação nitrogenada, melhorar o desempenho animal e reduzir as emissões de CH_4 . Este estudo avaliou a emissão de metano entérico, desempenho e metabolismo de novilhas Nelore em pastagens mistas de Capim Marandu (*Urochloa brizantha*; BB) com Desmódio (*Desmodium heterocarpa*; DO), comparadas à monocultura do BB, com ou sem adubação nitrogenada, sob lotação rotativa e taxa de lotação variável. A hipótese foi que a inclusão de DO reduziria as emissões entéricas de CH_4 sem afetar o consumo e desempenho animal. O experimento foi realizado na Estação Experimental do Extremo Sul da Bahia (CEPLAC – ESSUL), em Itabela-BA. Implantaram-se três tipos de pastagens em blocos casualizados com três repetições: 1) consórcio BB+DO; 2) monocultura de BB + N com adubação nitrogenada (150 kg/ha/ano); e 3) monocultura de BB sem adubação. O manejo foi por lotação rotativa, com sete dias de pastejo e 28 de descanso. Utilizaram-se 36 novilhas, divididas em dois grupos. A taxa de lotação foi ajustada com base em 1 % do peso corporal, com uso do método “put and take” para ajustar a lotação. A massa de forragem nas fases pré e pós-pastejo foi semelhante entre os tratamentos (médias de 3351 kg/ha e 2603 kg/ha, respectivamente). No BB+DO, a proporção de leguminosa foi de 25,2% antes e 26,4% após o pastejo. O peso médio das novilhas (233 kg), o ganho médio diário (0,460 kg/dia), a taxa de lotação (1,85 UA/ha) e o ganho por área (98,5 kg/ha/estação) não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos. A dieta das novilhas no tratamento BB+DO apresentou aumento de 5% na proteína bruta, 58% nos taninos condensados, 0,54% na matéria orgânica e 19% na fibra indigestível em detergente neutro em relação às monoculturas, sem alterações no consumo de matéria seca (1,88% do peso corporal) ou sua digestibilidade (média de 54%). A eficiência de uso do nitrogênio foi superior no BB+DO, com menor excreção urinária ($P=0,003$) e maior síntese de proteína microbiana (168,2 g Pmic/kg de MOD; $P=0,036$). Emissões de CH_4 por animal, por peso corporal, peso metabólico, ganho médio diário, consumo de matéria seca e por área foram significativamente menores nas novilhas BB+DO, com redução de 25% em relação às demais pastagens, sem comprometer o desempenho. Assim o uso de leguminosas como o DO é eficaz para mitigar emissões de metano entérico, promovendo sustentabilidade sem prejuízos à produtividade animal.

Palavras-chave: *Grona heterocarpa*; Emissão de metano entérico; Pecuária; Sustentabilidade.

ABSTRACT

Enteric methane (CH₄), produced by ruminants during digestion, is one of the main greenhouse gases emitted by livestock farming. The use of legumes in pastures is a sustainable alternative, replacing nitrogen fertilization, improving animal performance, and reducing CH₄ emissions. This study evaluated enteric methane emission, performance, and metabolism of Nelore heifers in mixed pastures of Marandu grass (*Urochloa brizantha*; BB) with desmodium (*Desmodium heterocarpa*; DO), compared to BB monoculture, with or without nitrogen fertilization, under rotational stocking and variable stocking rate. The hypothesis was that the inclusion of DO would reduce enteric CH₄ emissions without affecting intake and animal performance. The experiment was conducted at the Experimental Station of the Extreme South of Bahia (CEPLAC – ESSUL), in Itabela-BA. Three types of pastures were established in randomized blocks with three replications: 1) BB+DO consortium; 2) BB monoculture + N with nitrogen fertilization (150 kg/ha/year); and 3) BB monoculture without fertilization. Management was through rotational stocking, with seven days of grazing and 28 of rest. Thirty-six heifers were used, divided into two groups. The stocking rate was adjusted based on 1% of body weight, using the “put and take” method to adjust the stocking. Forage mass in the pre- and post-grazing phases was similar among treatments (averages of 3351 kg/ha and 2603 kg/ha, respectively). In BB+DO, the legume proportion was 25.2% before and 26.4% after grazing. The average weight of the heifers (233 kg), average daily gain (0.460 kg/day), stocking rate (1.85 AU/ha), and gain per area (98.5 kg/ha/season) showed no significant differences among treatments. The diet of heifers in the BB+DO treatment showed a 5% increase in crude protein, 58% in condensed tannins, 0.54% in organic matter, and 19% in indigestible neutral detergent fiber compared to monocultures, without changes in dry matter intake (1.88% of body weight) or dry matter digestibility (average of 54%). Nitrogen use efficiency was higher in BB+DO, with lower urinary nitrogen excretion (P=0.003) and higher microbial protein synthesis (168.2 g Pmic/kg of DOM; P=0.036). CH₄ emissions per animal, per body weight, metabolic weight, average daily gain, dry matter intake, and per area were significantly lower in BB+DO heifers, with a 25% reduction compared to the other pastures, without compromising performance. It is concluded that the use of legumes such as DO is an effective strategy to mitigate enteric methane emissions, promoting sustainability without harming animal productivity.

Keywords: *Grona heterocarpa*; enteric methane emissions, livestock.; sustainability.

Impactos sociais, tecnológicos, econômicos e culturais

Este trabalho teve como objetivo avaliar a emissão de CH₄ entérico, o desempenho e o metabolismo de novilhas Nelore em pastagens mistas de Capim Marandu (*Urochloa brizantha*) e Desmodio (*Desmodium heterocarpon*), em comparação à monocultura de *Brachiaria brizantha*, fertilizada ou não com nitrogênio (N), sob lotação rotativa com taxa de lotação variável. A pesquisa desenvolvida proporcionou impactos significativos nos âmbitos social, tecnológico, econômico e cultural, beneficiando diretamente o Brasil e o mundo ao contribuir para a redução das emissões de gases do efeito estufa pelos ruminantes sem comprometer o desempenho animal. Os resultados obtidos demonstram que a introdução do Desmodio é suficiente para permitir o desenvolvimento das pastagens sem a necessidade de adição de nitrogênio, reduzindo assim as emissões de óxido nitroso e nitrato. Ademais, as emissões de metano entérico reduziram em 25% nas pastagens consorciadas em relação ao pasto controle, evidenciando a relevância desta investigação para a indústria agropecuária ao possibilitar a produção de um produto de baixo carbono. Além disso, este estudo fortalece a eficiência do produtor na busca por maior autossuficiência e aumento da produtividade. A pesquisa também possui caráter extensionista, envolvendo a participação de (inserir número de docentes, estudantes e técnicos) e estabelecendo parcerias com a Estação de Zootecnia do Extremo Sul da Bahia (ESSUL-CEPLA), a Embrapa Agrobiologia de Seropédica e a Universidade Federal de Lavras. O trabalho se insere na área temática de (especificar uma ou mais das oito áreas temáticas da Política Nacional de Extensão) e está alinhado às áreas de meio ambiente, produção e tecnologia. Ademais, está em consonância com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, contribuindo para o avanço da Agenda 2030 no Brasil. Os impactos concretos e potenciais deste estudo demonstram sua importância para a sociedade e reforçam a necessidade de continuidade e ampliação das iniciativas propostas. A partir das evidências levantadas, espera-se que os resultados possam ser replicados e adaptados para outras realidades, promovendo transformações positivas e sustentáveis em diferentes contextos.

Social, technological, economic and cultural impacts

This study aimed to evaluate enteric CH₄ emissions, performance, and metabolism of Nelore heifers in mixed pastures of Marandu grass (*Urochloa brizantha*) and Desmodium (*Desmodium heterocarpon*), compared to *Brachiaria brizantha* monoculture, fertilized or not with nitrogen (N), under rotational stocking with variable stocking rates. The research developed had significant social, technological, economic, and cultural impacts, directly benefiting Brazil and the world by contributing to the reduction of greenhouse gas emissions from ruminants without compromising animal performance. The results obtained demonstrate that the introduction of Desmodium is sufficient to allow pasture development without the need for nitrogen addition, thus reducing nitrous oxide and nitrate emissions. Furthermore, enteric methane emissions decreased by 25% in the intercropped pastures compared to the control pasture, highlighting the relevance of this investigation for the agricultural industry by enabling the production of a low-carbon product. Moreover, this study strengthens the producer's efficiency in seeking greater self-sufficiency and increased productivity. The research also has an extensionist character, involving the participation of (insert number of faculty members, students, and technicians) and establishing partnerships with the Zootecnia Station of the Extreme South of Bahia (ESSUL-CEPLA), Embrapa Agrobiologia in Seropédica, and the Federal University of Lavras. The work falls within the thematic area of (specify one or more of the eight thematic areas of the National Extension Policy) and is aligned with the fields of environment, production, and technology. Furthermore, it is in line with the United Nations' Sustainable Development Goals (SDGs), contributing to the advancement of the 2030 Agenda in Brazil. The concrete and potential impacts of this study demonstrate its importance to society and reinforce the need for continuity and expansion of the proposed initiatives. Based on the evidence gathered, it is expected that the results can be replicated and adapted to other realities, promoting positive and sustainable transformations in different contexts.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1: Temperaturas médias e precipitações mensais, durante o experimento em Itabela, Bahia.....24
- Figura 2: Teor de PB na *Urochloa brizantha*, em cada tipo de pastagem. A-C: letras maiúsculas indicam diferença estatística com $P \leq 0,10$ 32
- Figura 3: Emissão de CH₄ entérico em gramas por animal por dia de novilhas nelores em pastagens de *Urochloa brizantha* pura, adubada com N ou consorciada com *Grona heterocarpa* durante as estações do período experimental.....37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Composição química do suplemento mineral.....	26
Tabela 2: Características estruturais do dossel de pastagens de <i>Urochloa brizantha</i> adubadas ou não com nitrogênio ou consorciadas com <i>Grona heterocarpa</i> , durante o período experimental.	29
Tabela 3: Desempenho de novilhas nelores em pastagens de <i>Urochloa brizantha</i> pura, adubada com N ou consorciada com <i>Grona heterocarpa</i> durante as estações do período experimental.	31
Tabela 4: Valor nutritivo do capim-marandu, e dieta, consumo e digestibilidade aparente da forragem consumida por novilhas nelores em pastagens de <i>Urochloa brizantha</i> pura, adubada com N ou consorciada com <i>Grona heterocarpa</i> durante as estações do período experimental.	34
Tabela 5: Metabolismo do nitrogênio de novilhas nelores em pastagens de <i>Urochloa brizantha</i> pura, adubada com N ou consorciada com <i>Grona heterocarpa</i> durante as estações do período experimental.	36
Tabela 6: Emissão de metano entérico de novilhas nelores em pastagens de <i>Urochloa brizantha</i> pura, adubada com N ou consorciada com <i>Grona heterocarpa</i> durante as estações do período experimental.	38

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	16
2.1	Gases do efeito estufa	16
2.2	Produção de metano entérico	18
2.3	Uso de leguminosas forrageiras.....	20
3	MATERIAL E METODOS.....	23
3.1	Comitê de Ética no Uso de Animais	23
3.2	Local do experimento, clima e solo	23
3.3	Histórico da área experimental e aplicação dos tratamentos	24
3.4	Manejo experimental.....	25
3.5	Avaliações.....	26
	Massa de forragem e estrutura do dossel	26
	Desempenho animal.....	27
	Valor nutritivo da forragem	28
	Consumo de forragem	29
	Síntese de proteína microbiana	30
	Balanço de nitrogênio	31
	Emissão de metano entérico	32
3.6	Análise estatística.....	33
4	RESULTADOS	34
4.1	Massa de forragem	34
4.2	Desempenho animal.....	30
4.3	Valor nutritivo	32
4.4	Dieta.....	33
4.5	Consumo.....	33
4.6	Digestibilidade.....	33
4.7	Metabolismo de Nitrogênio.....	35
4.8	Emissão de metano entérico	37
5	DISCUSSÃO	39
6	CONCLUSÃO.....	44
7	REFERÊNCIAS	42

1 INTRODUÇÃO

O Brasil registrou em 2023 um total de 234,4 milhões de cabeças de bovinos, sendo responsável por 12% do rebanho mundial. A produção de carne ocorre predominantemente em ecossistemas de pastagens, os quais mantêm 83% do total de bovinos (ABIEC, 2024). Como resultado das políticas de intensificação pecuária para aumento da produção, houve aumento das emissões de gases do efeito estufa (GEE) no setor agropecuário pelo aumento do rebanho. Consequentemente, a produção de produtos de origem animal vem sofrendo críticas no Brasil e no mundo, pela participação nas emissões de GEE, destacando para os ruminantes o metano produzido na fermentação entérica.

Dentre as estratégias utilizadas para atender à crescente demanda de alimentos mundial, a produção de bovinos em pastejo necessariamente precisa evoluir na utilização dos recursos de forma mais eficiente. Assim, a recuperação de pastagens degradadas por meio do uso de diferentes aportes de nitrogênio (N) no sistema, sendo frequentemente o principal nutriente que limita a produção de forragem, torna-se uma necessidade eminente. Portanto, o uso de adubação nitrogenada ou o consórcio entre gramíneas e leguminosas são estratégias que atendem não somente as demandas de mercado, mas também podem contribuir com o aumento da produção de alimentos, melhorando a conversão alimentar e consequentemente o ganho de peso, produção de leite e índices reprodutivos (HOMEM *et al.*, 2020).

A aplicação de fertilizantes nitrogenados é a forma mais fácil de nutrir adequadamente a planta forrageira com N. Embora seja eficaz para aumentar a produção de forragem (MARTUSCELLO *et al.*, 2019), a dependência exclusiva de fertilizantes pode se tornar um problema, pois os fertilizantes nitrogenados também apresentam desafios significativos. Os fertilizantes nitrogenados são derivados de combustíveis fósseis, o que contribui para emissões de GEE, incluindo as emissões de N_2O após aplicação ao solo, e o seu uso excessivo pode levar à contaminação dos recursos hídricos devido a lixiviação de NO_3^- não absorvido pela planta. Ao utilizar a ureia como fertilizante, também é necessário levar em consideração as perdas de N por volatilização de NH_3 e potencial acidificação do solo (PRIMAVESI *et al.*, 2001).

Se tratando de economia, os fertilizantes nitrogenados ainda apresentam elevado custo de aquisição para os produtores. Além disso, para atingir a melhor eficiência da adubação nitrogenada é crucial considerar fatores como a época de adubação, distribuição do fertilizante e manejo do pastejo. Embora essa prática seja altamente eficiente no aumento da

produtividade das pastagens, é preciso levar em consideração o consórcio entre gramíneas e leguminosas, que podem oferecer benefícios agrônômicos, econômicos e ambientais.

O N encontra-se em grande abundância na atmosfera, correspondendo a cerca de aproximadamente 78% dos gases aí presentes (NOAA, 2024). Uma estratégia para o aproveitamento do N atmosférico é o uso de leguminosas forrageiras. Tais plantas podem fornecer N ao sistema por meio de dois processos de transferência de N_2 existentes em uma forma reativa. Uma é a via química e a outra é a via biológica. Enquanto a primeira permite fornecer N prontamente assimilável para as plantas, a via biológica alimenta com N a planta hospedeira, e pode transferir o N por meio da decomposição de seus resíduos. Leguminosas não apenas melhoram as condições para as pastagens, mas também contribuem com a melhoria do desempenho animal e na mitigação das emissões de metano (CH_4) entérico (BOODEY et al., 2004).

Tais emissões de CH_4 entérico são responsáveis por manter a funcionalidade da via glicolítica e a simbiose entre os microrganismos ruminais, pois o CH_4 é um sumidouro de hidrogênio no ambiente ruminal para manutenção do pH ideal do meio. Acredita-se que leguminosas podem reduzir as emissões de CH_4 entérico devido a presença de compostos bioativos, como os taninos condensados, que agem de diferentes maneiras no ambiente ruminal. Esses compostos podem atuar diretamente reduzindo a população de *Archaea* metanogênicas ou indiretamente pela redução da população de protozoários precursores de H_2 na síntese de CH_4 no rúmen. A redução da produção de CH_4 é associada ao melhor aproveitamento da energia proveniente da dieta (FAGUNDES et al., 2020).

Dentre as leguminosas de alta persistência utilizadas em clima tropical, encontra-se o *Grona heterocarpa* (L.) H. Ohashi & K. Ohashi subsp. *ovalifolia* (Prain) H. Ohashi & K. Ohashi cv. BRS Itabela (Desmódio). Embora pouco estudada, apresenta características que a tornam altamente eficaz no processo de propagação da espécie. Sua peculiaridade compreende o hábito de crescimento estolonífero e a alta produção de sementes, otimizando a disseminação nas pastagens pelos próprios animais ou pela própria comercialização das mesmas. Além disso, possui como estratégia de defesa contra pragas, concentração de taninos condensados consideravelmente mais elevada do que outras leguminosas.

Em um estudo avaliando três tipos de pastagens: 1) monocultura de *Urochloa brizantha* (Hochst. ex A. Rich.) R.D. Webster cv. Marandu (capim-marandu) fertilizada com 150 kg de N/ha/ano; 2) monocultura de capim-marandu sem adubação nitrogenada e 3) consórcio entre capim-marandu e desmódio, Santos et al., (2022) reportaram que houve um

maior ganho médio diário para os animais pastejando a monocultura fertilizada com N. No entanto, os autores descreveram que a pastagem consorciada obteve taxa de lotação semelhante à pastagem de monocultura adubada com N (3,34 vs. 3,21 UA/ha, respectivamente). Dessa forma, o ganho por área foi semelhante entre a pastagem consorciada e a pastagem adubada com 150 kg/ha/ano de N, demonstrando o potencial do desmódio para aumentar a produtividade e contribuir com a sustentabilidade na pecuária (SANTOS *et al.*, 2022). No entanto, nenhuma informação existe na literatura sobre a capacidade de mitigação de CH₄ entérico de animais sob pastejo em pastos consorciadas com desmódio.

Dessa forma, este trabalho visa confirmar que a inclusão de desmódio em pastagens de capim-marandu poderá substituir a adubação nitrogenada em 150 kg/ha/ano, mantendo a produção de forragem e animal, além de testar a hipótese de que o consórcio reduz as emissões de CH₄ entérico. Assim, o objetivo deste estudo foi quantificar o impacto da introdução de desmódio em pastagens de capim-marandu na produção animal e como estratégia de mitigação das emissões de CH₄ entérico.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Gases do efeito estufa

O efeito estufa é um fenômeno natural fundamental para manutenção da temperatura de equilíbrio no planeta, criando condições ideais para o desenvolvimento dos seres vivos. Ocorre devido à presença de gases na atmosfera, que são responsáveis por reter parte da radiação infravermelha emitida pela superfície terrestre após a absorção da radiação solar. Esse fenômeno natural é responsável por garantir a temperatura média do planeta. Dentre os principais gases do efeito estufa (GEE), destacam-se o vapor d'água (H₂O), o dióxido de carbono (CO₂), o metano (CH₄), o óxido nitroso (N₂O) e o ozônio (O₃) (SCHVAMBACH; AURÉLIO SUSKI, 2023). A contribuição de cada GEE para o aquecimento global é determinada pelo seu potencial de aquecimento global (GWP), o qual é expresso em termos de equivalente de dióxido de carbono (CO₂eq) num horizonte de tempo, considerando a capacidade de retenção de calor e o tempo de permanência do mesmo na atmosfera (KOUSHKI *et al.*, 2023).

As emissões de GEE foram intensificadas pós-período da Revolução Industrial, onde a matriz energética mundial passou a ser dependente de combustíveis fósseis. Atualmente, os GEE são provenientes principalmente da queima de combustíveis fósseis, desmatamento,

solos agrícolas e atividades industriais (GUSTAVSSON *et al.*, 2022). Realizado em 2023, o sexto relatório de avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC; AR6) reportaram que as emissões mundiais líquidas antropogênicas alcançaram $59 \pm 6,6$ Gt CO₂eq em 2019. Do total emitido, 79% tiveram sua origem em setores de energia, indústria, transporte e edificações, 11% são provenientes da silvicultura e uso da terra, e por fim 11% correspondem à agricultura (IPCC, 2023).

O Brasil foi responsável pela emissão de aproximadamente 1,79 milhões de toneladas de CO₂eq, no qual o setor agropecuário participou deste montante com 554.898 Gg CO₂eq, o que corresponde a aproximadamente 31% da produção de GEE mensuradas no Brasil. Neste setor, o CO₂eq foi computado em três principais gases, sendo eles o CO₂, CH₄ e N₂O (MCTI, 2021).

O CO₂ foi considerado o gás com maior emissão antropogênica mundial em 2019, com emissão de 40 Gt CO₂eq e tendo sua origem por meio de processos de respiração aeróbica e decomposição da matéria orgânica no solo. Apesar de sua participação elevada, este gás apresenta um GWP de 1, e é o principal responsável pelo forçamento radioativo, devido a sua alta concentração e elevado tempo de permanência na atmosfera (IPCC, 2023). No Brasil, as emissões de CO₂ pela agropecuária corresponderam a 5%, sendo derivadas da aplicação de calcário (83%) e ureia (17%) nos solos agrícolas (MCTI, 2021). Dentre as estratégias para mitigação das emissões de CO₂ na pecuária destacam-se sistemas agroflorestais, plantio direto e recuperação de pastagens degradadas.

O segundo gás com maior participação nas emissões no Brasil e no mundo é o CH₄. A fermentação entérica contribuiu com 57% das emissões de CH₄ na agropecuária mundial, onde os bovinos são responsáveis por 96,8% e os bovinos de corte por 88,4% das emissões mundiais de CH₄ dentro do setor agropecuário (IPCC, 2023). Dentro do cenário das emissões brasileiras, o setor da agricultura participa com 72% das emissões de CH₄, tendo sua origem: emissão entérica de gado de corte (80,6%), emissão entérica de gado de leite (7,7%), outras emissões entéricas (2,9%), dejetos (6%) e cultivo de arroz em áreas alagadas (2,82%) (MCTI, 2021). Este gás possui um GWP de 28 vezes maior que o CO₂ e vida útil de 12 anos, contribuindo de 15 a 20% para o aquecimento global (CHEN *et al.*, 2021; COCCO *et al.*, 2018). Estratégias como melhoria da qualidade da dieta, uso de aditivos alimentares (taninos condensados, ionóforos e óleos essenciais) contribuem com a mitigação das emissões entéricas de CH₄ pelos ruminantes.

O N_2O é considerado o gás com maior potencial de aquecimento, apresentando um GWP 273 vezes maior que o CO_2 em um horizonte de 100 anos. O N_2O participa com 23% das emissões de GEE no setor agropecuário brasileiro. A origem deste GEE para este setor seguiu: manejo de dejetos (3,1%), excretas de gado de corte (29,3%), excretas de gado de leite (5,7%), outras excretas (2,4%), adubo orgânico (3,4%), fertilizantes (26,7%), resíduos de colheita (16,2%), manejo de solos (2,2%), queima de palhada (0,1%) e emissões indiretas (20,9%) (MCTI, 2021). Práticas como gestão da adubação nitrogenada, uso de leguminosas e a integração lavoura-pecuária-floresta podem reduzir as emissões de N_2O (GUSTAVSSO *et al.*, 2022).

2.2 Produção de metano entérico

No Brasil, o setor agropecuário desempenha um papel fundamental na economia, especialmente pela produção de carne e leite em larga escala. A alimentação de ruminantes é dependente do processo de fermentação realizada por microrganismos anaeróbicos no rúmen. Esses microrganismos metabolizam carboidratos estruturais presentes nas forragens, como celulose e hemicelulose, em ácidos graxos voláteis, que são fonte de energia para a deposição de tecido muscular ou produção de leite. No entanto, esse processo fermentativo libera subprodutos responsáveis pela síntese de CH_4 entérico, que contribuem para a emissão de GEE.

O aporte de energia para os ruminantes é diretamente associado à produção de ácidos graxos voláteis (AGV) por meio da fermentação ruminal. Os principais AGVs são acetato, propionato e butirato, que desempenham um papel essencial de fonte de energia para os ruminantes. No entanto, durante o processo de produção dos AGVs são liberados subprodutos, como o hidrogênio (H_2) e o CO_2 , que serão utilizados pelas *Archeas* metanogênicas para serem reduzidos a CH_4 . A utilização do H_2 é considerada uma estratégia da microflora ruminal, a fim de manter o ambiente adequado para o metabolismo e proliferação dos microrganismos (PALANGI *et al.*, 2022; SMITH *et al.*, 2022).

A produção de AGVs é responsável pela liberação de precursores para a formação de CO_2 e CH_4 . Dentre os produtos da fermentação ruminal, o propionato, com uma estrutura composta por três moléculas de carbono, não promove perda de carbono no meio ruminal proveniente da molécula de piruvato. Para a formação de acetato e butirato, haverá perda de carbono na redução de piruvato a acetil-CoA, sendo esse carbono perdido de forma direta ou na forma de formato. Esse processo fermentativo está diretamente relacionado ao

metabolismo do hidrogênio no rúmen, uma vez que a remoção de carbono na forma de CO₂ ou formato está associada à necessidade fisiológica de eliminação de H₂. As moléculas liberadas no rúmen são utilizadas na metanogênese para o controle e eliminação de hidrogênio do rúmen, mecanismo esse essencial para evitar o acúmulo de H₂ no ambiente ruminal. Em condições de pastagens de baixo valor nutritivo, ocorre uma adaptação do ambiente ruminal na intenção de melhorar a degradação da fibra, e com isso um aumento na população de *Streptococcus bovis* e *Butirivibrium* é observado, elevando a formação de formato, um precursor direto do CH₄ entérico (COTTLE; NOLAN; WIEDEMANN, 2011).

Além disso, o processo de redução do NADH à NAD⁺ assume extrema importância, permitindo que o NAD⁺ seja reutilizado na via glicolítica; entretanto, a desidrogenação é responsável pela liberação de H⁺ no meio. Apesar de sua extrema importância para manter o equilíbrio na flora ruminal, do ponto de vista energético, as emissões de CH₄ associadas à fermentação ruminal resultam em uma perda considerável de energia, representando de 6 a 12% da ingestão de energia bruta ou de 8 a 14% da ingestão de energia digestível (SMITH *et al.*, 2022).

Na metanálise realizada por Congio *et al.* (2021), constatou-se que a melhoria do valor nutritivo da forragem em sistemas de integração–lavoura–pecuária–floresta resultou em redução das emissões de CH₄ entérico e no consumo de matéria seca (CMS), sem impactar nos demais parâmetros de produção, como ganho de peso e produção de leite. Além disso, foi observado que animais manejados no sistema de lotação rotativa apresentaram incremento no ganho médio diário (GMD) e uma redução nas emissões de CH₄ por kg de produto. Pastagens de gramíneas fertilizadas com nitrogênio ou consorciadas com leguminosas, no entanto, não apresentaram efeitos significativos nas emissões de CH₄ e no desempenho animal.

Nos últimos anos foram desenvolvidas estratégias a fim de reduzir as emissões de CH₄ entéricas. Dentre elas, destaca-se a manipulação da fermentação ruminal e a otimização da eficiência de produção (CHEN *et al.*, 2021). A modulação do padrão da fermentação de AGVs, oferecendo uma dieta com maior teor de carboidratos não estruturais e o aumento da síntese de propionato no rúmen é uma das estratégias. Além disso, a utilização de compostos com efeitos bactericidas, capaz de controlar a população bacteriana responsável pela formação de formato e, conseqüentemente, diminuindo a quantidade de substrato para síntese de CH₄ é outra estratégia utilizada (CONGO *et al.*, 2021)

Apesar de não ser conhecido pela literatura o limite de inclusão de leguminosas como moduladora ruminal, essa prática tornou-se uma estratégia para redução da emissão entérica

de CH₄, pois estudos indicam que metabólitos secundários, como taninos condensados (TC) e saponinas presentes nessas forrageiras podem afetar a fermentação ruminal e a remoção de H₂ do meio (MAYORGA *et al.*, 2022). Os TC podem reduzir a metanogênese de forma direta ou indireta, reduzindo a perda de energia. De maneira direta, por meio das propriedades bactericida e bacteriostática, reduzem a população das *Archeas* metanogênicas. Indiretamente, eles reduzem a população de protozoários que são percussores de H₂ para as bactérias produtoras de CH₄. Além disso, a formação dos complexos TC-proteína podem reduzir a degradabilidade da proteína no rúmen, e assim reduzir a disponibilidade de N para a proliferação das *Archeas* metanogênicas (DONADIA *et al.*, 2023).

Importante ressaltar que, a emissão de CH₄ entérico é um fenômeno natural e fundamental para saúde ruminal. Trata-se de uma estratégia desenvolvida pelos ruminantes para não acidificar o meio, através da liberação de H₂. Dessa forma, todas as alternativas devem ser utilizadas com cautela, para que a liberação de H por meio da re-oxidação possa ser controlada pelos microrganismos ruminais.

2.3 Uso de leguminosas forrageiras

O Brasil registrou notáveis avanços na pecuária até o ano de 2022, destacando-se principalmente pelo número de cabeças de bovinos, que alcançou aproximadamente 234,4 milhões de animais, conforme dados do IBGE (2022). No entanto, um fato preocupante são as áreas de pastagens destinadas a produção animal, sendo que cerca de 78% destas áreas foram estabelecidas com gramíneas do gênero *Urochloa* para o pastejo e encontram-se em algum estágio de degradação (MAPA, 2024).

Apesar do crescimento observado no setor pecuário, a produtividade das pastagens devida à inadequada disponibilidade de N no solo, encontra-se abaixo do seu potencial máximo (BORGHI, *et al.*, 2018). Essa situação sinaliza a necessidade de aprimorar a qualidade das pastagens para alcançar maiores patamares de produção de ruminantes à pasto. Nesse contexto, a inclusão de leguminosas forrageiras em pastagens é uma alternativa sustentável para a produção animal, constituindo uma estratégia eficaz para o reaproveitamento do N disponível na atmosfera em conjunto com a mitigação de GEE (BODDEY *et al.*, 2020).

É relevante destacar que o N, em sua forma gasosa, constitui cerca de 78% da composição atmosférica. Assim, leguminosas forrageiras em associação com bactérias do gênero *Rhizobium* e *Bradyrhizobium* possuem a capacidade de utilizá-lo por meio da fixação

biológica de nitrogênio (FBN) (FURTADO *et al.*, 2023). A transferência eficiente de N para a gramínea acompanhante ocorrerá por meio de diversos processos, como a ciclagem do N via decomposição da serrapilheira e ciclagem via excretas, liberação de exsudatos nas raízes (rizosfera), absorção pela microfauna do solo, e lixiviação de compostos nitrogenados na superfície do solo (HOMEM *et al.*, 2021).

A utilização do consórcio de gramíneas e leguminosas é uma prática pouco comum na produção animal, contudo apresentam melhorias significativas no valor nutritivo da forragem e, conseqüentemente, no desempenho animal, além de promover aumento na taxa de lotação (SANTOS *et al.*, 2022). Para uma estrutura harmônica do dossel forrageiro, a composição botânica (proporção de leguminosa na massa de forragem) das pastagens consorciadas deve estar entre 20% e 45%, em casos de baixa proporção de leguminosas a transferência de N pode ser comprometida (THOMAS, 1992). O consumo de leguminosa nas estações secas e chuvosas demonstram boa aceitabilidade pelos animais, sendo que a proporção de leguminosa no consumo varia de 25% a 71% quando a pastagem é constituída de uma composição botânica adequada, tornando-se uma alternativa promissora para o aumento da performance animal (BODDEY *et al.*, 2020). Trabalho conduzido por um período de nove anos mostrou que animais em pastagens consorciadas tiveram um incremento notável na produtividade, alcançando um aumento de 17,0% no GMD quando comparado à pastagem de gramínea em monocultura fertilizada com 120 kg/ha/ano de N (PEREIRA *et al.*, 2020).

Santos *et al.* (2022) comparou o ganho de peso de novilhas pastejando pastagens de capim-marandu consorciadas com desmódio e capim-marandu fertilizadas ou não com N, e observaram redução no GMD dos animais na pastagem consorciada, associado à redução da digestibilidade da fibra. No entanto, neste mesmo trabalho, o ganho por área foi semelhante entre a pastagem consorciada e a pastagem fertilizada com 150 kg/ha/ano de N devido a uma compensação da maior taxa de lotação na pastagem consorciada com desmódio. Esse aumento na produção de forragem e animal deve ser associado a capacidade de FBN das leguminosas.

A FBN é um importante agregado para a produção de bovinos à pasto, pois reduzem a necessidade do uso de fertilizantes nitrogenados por contribuir com a disponibilidade de N no solo. No desempenho animal, a FBN atua de maneira indireta, principalmente por meio da melhoria no valor nutritivo da dieta e na produtividade da forragem. A introdução de N no sistema aumenta o teor de proteína bruta e melhora a digestibilidade da fibra (favorecendo a relação folha/colmo) (DA SILVA *et al.*, 2012).

Caracterizado como uma leguminosa estolonífera, o desmódio apresenta uma grande produção de sementes na época seca do ano, o que permite sua propagação de forma clonal e por semente. Na nutrição dos animais, essa leguminosa forrageira apresenta uma peculiaridade, sendo a sua elevada concentração de compostos secundários, nesse caso os TC. No estudo *in vitro* realizado por Fagundes *et al.*, (2020), ao neutralizar a ação dos TC presentes no desmódio, ocorreu um aumento na produção de gás e na taxa de fermentação, demonstrando que a utilização de desmódio foi capaz de modificar a fermentação ruminal. A concentração de TC varia de acordo com as condições climáticas, podendo observar valores entre 60 e 70 g/kg de MS durante a primavera, verão e outono, enquanto no inverno apresenta concentrações mais baixas, em torno de 22g/kg (SANTOS *et al.*, 2022).

A presença de concentrações moderadas de TC em forragens pode conferir benefícios para os ruminantes. Entre eles, destaca-se a sua capacidade de reduzir a disponibilidade de H₂ no ambiente ruminal, e assim reduzir a perda de energia com a formação de CH₄, prevenção de acidose, timpanismo, laminite, controle de endoparasitas e o aumento na disponibilidade de energia para manutenção e produção.

Os TC são polímeros derivados de compostos fenólicos com diferentes pesos moleculares e têm a capacidade de formar complexos com moléculas de proteína por ligações de ponte de hidrogênio (MILLEN, 2023). Tal interação resulta em um complexo tanino-proteína que será quebrado em condições de baixo pH (abomaso), favorecendo a absorção de proteínas no pós-rúmen. No rúmen, os TC que são constituídos de polímeros de flavonoides, principalmente compostos por unidades de catequina e epicatequina, podem interagir com proteínas e carboidratos estruturais formando complexos insolúveis que reduzem a degradação ruminal. Tais complexos podem ser dissociados no abomaso, devido as condições de pH, liberando compostos como ácido gálico e derivados de flavonoides, os quais podem ser absorvidos ou excretados. Em estudo com pastagens consorciadas, o uso de amendoim forrageiro reduziu a população de protozoários ruminais e aumentou a eficiência de síntese de proteína microbiana (Pmic), o que poderia justificar a menor emissão de CH₄ entérico. Fatores com redução na digestibilidade aparente da matéria seca e fibra em detergente neutro sugerem que os TC influenciam a fermentação ruminal (GOMES *et al.*, 2024).

A complexidade dos efeitos dos TC no desempenho é evidenciada pela variedade de mecanismos propostos, como a atuação direta na *Archea* metanogênicas, e na concentração de bactérias fibrolíticas. Dessa forma, os TC atuam não apenas alterando a composição da flora

ruminal, mas podem redirecionar o H₂ para outras vias metabólicas, contribuindo com a eficiência do uso de energia.

3 MATERIAL E METODOS

3.1 Comitê de Ética no Uso de Animais

O presente experimento foi submetido à avaliação do Comitê de Ética no Uso de Animais (CEUA) da Universidade Federal de Lavras, sendo aprovado com o protocolo número 3446020724.

3.2 Local do experimento, clima e solo

O experimento foi conduzido na Estação Experimental de Zootecnia do Extremo Sul da Bahia – ESSUL, pertencente à Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira (CEPLAC), situada em Itabela – BA (16° 39' S; 39° 30' O, 128m de altitude). A área está inserida no bioma Mata Atlântica, com um clima semântico entre o tropical úmido (Af) e o de monção (Am), segundo a classificação de Köppen (ALVARES *et al.*, 2013). O experimento ocorreu durante seis estações do ano .

O solo da área experimental é um Acrisolo Háplico (Abrúptico Hiperditrico – classificação WRB/FAO) ou Latossolo Amarelo Distrocoeso (classificação brasileira). Apresenta textura arenosa com teor de argila aumentando ao longo do perfil (SANTOS *et al.*, 2018). Em dezembro de 2023, análise de solo foi realizada utilizando metodologia padrão da Embrapa (CLAESSEN *et al.*, 1997), encontrando as seguintes propriedades: pH:5,77, Al: 0,03 cmol_c/dm³, H+Al: 2,8 cmol_c/dm³, Ca²⁺: 2,83 cmol_c/dm³, K⁺: 55,3mg/dm³ e fósforo: 4,33mg/dm³.

O experimento iniciou na primavera do primeiro ano (primavera I) e finalizou no verão do segundo ano (verão II), abrangendo as seguintes estações do ano: verão (22 de dezembro a 21 de março), outono (22 de março a 21 de julho), inverno (22 de julho a 21 de setembro) e primavera (22 de setembro a 21 de dezembro). Os dados climáticos (temperatura e precipitação) durante o período experimental, encontram-se descritos na Figura 1.

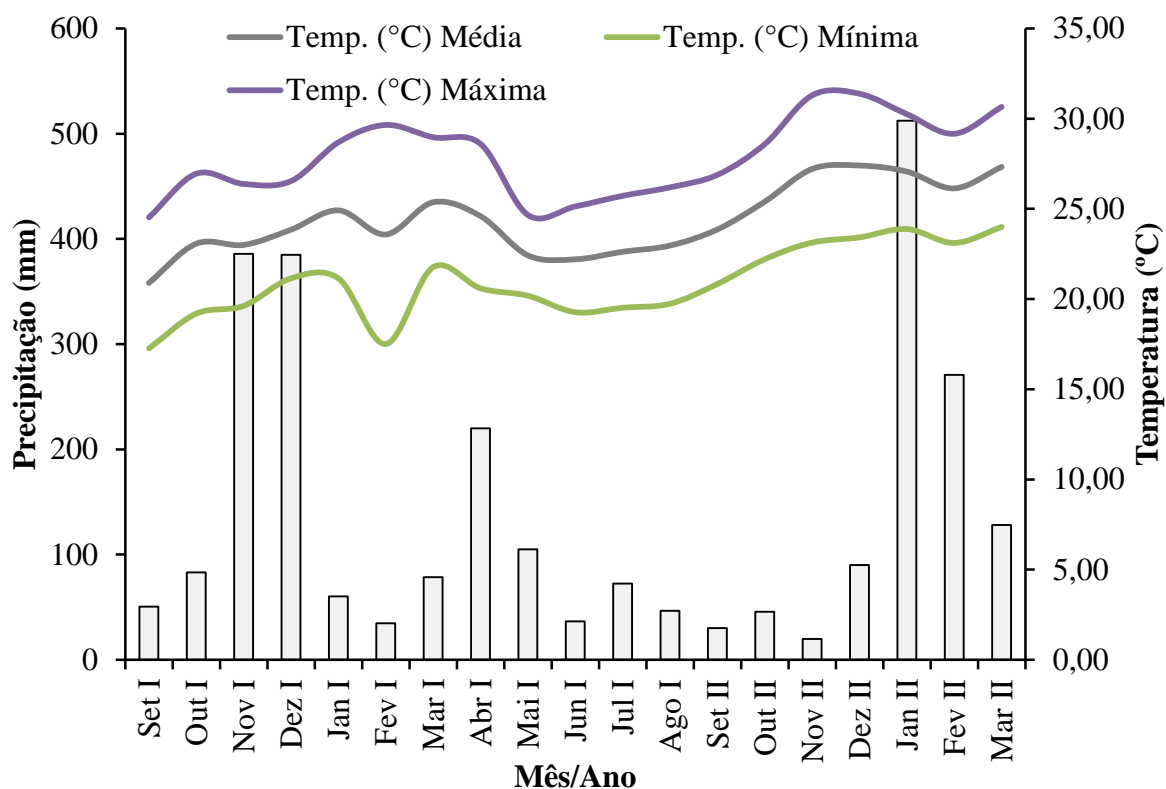


Figura 1: Temperaturas médias e precipitações mensais, durante o experimento em Itabela, Bahia.

3.3 Histórico da área experimental e aplicação dos tratamentos

A substituição da vegetação nativa pela área experimental ocorreu cerca de 40 anos antes do início do experimento, e foi preparada com aplicação de calcário, aração e gradagem. Para o estabelecimento da pastagem de *Urochloa brizantha* (Hochst. ex A. Rich.) R.D. Webster cv. Marandu (capim-marandu), adubações de 34,83 kg/ha de fósforo e 42,5 kg/ha de potássio na forma de superfosfato simples e cloreto de potássio, respectivamente, foram realizadas. A área foi pastejada sob lotação contínua por cinco anos, sendo que durante esse período houve a implantação de *Grona heterocarpa* (L.) H. Ohashi & K. Ohashi subsp. *ovalifolia* (Prain) H. Ohashi & K. Ohashi cv. Itabela (desmódio). O desmódio foi implantado através da ingestão das sementes pelos animais em outras áreas da fazenda experimental e disseminado via excretas na área experimental (endozoocoria). De 1990 a 2015 a área foi utilizada como pastagem não experimental.

Em 2015, três pastagens foram instaladas: 1) pastagem consorciada de desmódio com capim-marandu, 2) monocultura de capim-marandu sem adubação nitrogenada, e 3) monocultura de capim-marandu adubada com 150 kg de N/ha/ano (3 x 50 kg de N fertilizante/ha/ano). O experimento foi delineado em blocos ao acaso, sendo constituído de

três blocos. Cada bloco foi dividido em três módulos (unidades experimentais) de lotação rotativa com cinco piquetes cada. O tamanho de cada módulo foi ajustado com base em estudos anteriores na Estação Experimental com esses tipos de pastagens levando em consideração o potencial de produção de forragem em cada sistema. O tamanho dos módulos das pastagens adubadas com N e consorciada foi de 7.800 m², e o tamanho dos módulos de pastagem não adubada foi de 9.800 m². Como toda a área experimental tinha a presença do desmódio, para o estabelecimento dos tratamentos de monoculturas foi aplicado 2,5 L por hectare de aminopirralide e 2,4-D em conjunto com capina manual. O período entre outubro de 2015 e setembro de 2017 foi considerado o período de adaptação do dossel ao manejo de lotação rotativa com taxa de lotação variável. De outubro de 2017 a setembro de 2019, oito estações foram avaliadas ao longo do tempo sob esse modelo experimental (SANTOS et al., 2022). De setembro de 2019 até setembro de 2022, a área experimental foi pastejada regularmente, com ausência de ajuste na taxa de lotação, no entanto, as adubações de manutenção não foram realizadas.

Os tratamentos consistiram em diferentes tipos de pastagens: *Urochloa brizantha* (BB) em monocultura sem adubação nitrogenada, *Urochloa brizantha* com adubação de 150 kg de N/ha/ano (BB+N) e *Urochloa brizantha* consorciada com *Grona heterocarpa* (BB+DO).

3.4 Manejo experimental

O experimento utilizou 36 novilhas como animais testes, divididas em grupos conforme as estações do ano. O primeiro grupo foi composto por 18 novilhas cruzadas zebuínas com peso inicial médio de 225 kg, e permaneceram no experimento da primavera I ao outono I. O segundo grupo foi formado por 18 novilhas Nelore recém-desmamadas (150 a 180 kg) utilizadas do inverno I ao verão II. A blocagem para inclusão dos animais nas unidades experimentais foi realizada com base no peso corporal. As unidades experimentais foram submetidas a ciclo de pastejo com 35 dias, sendo sete dias de pastejo seguido por 28 de descanso.

A taxa de lotação foi ajustada mensalmente com base na oferta de forragem, utilizando a metodologia de Sollenberg, L. E. *et al.* (2005), ajustando o número de animais com a finalidade de manter a oferta de forragem constante em torno de 4% de oferta de forragem. Para o cálculo de oferta de forragem foi utilizada a seguinte equação:

$$OF = (((MSVHA/10000) * TP)/(PVT/100))/D$$

Onde: OF é a oferta de forragem (MS); MSVHA é a massa seca verde por hectare, TP é o tamanho do piquete (m²); PVT é o peso vivo total dos animais presentes na área; D são os dias em pastejo.

Para o ajuste da taxa de lotação com base na oferta de forragem foi utilizada a metodologia *put and take*, onde animais reguladores foram adicionados ou removidos a fim de manter a oferta de forragem constante e semelhante entre os tratamentos. Os animais utilizados para o controle das pastagens foram novilhas da mesma categoria e com peso corporal semelhante aos animais traçadores (ALLEN *et al.*, 2011). Os animais tiveram acesso à água e suplemento mineral comercial *ad libitum*. A composição do suplemento mineral fornecido encontra-se na Tabela 1.

Tabela 1. Composição química do suplemento mineral.

Componente	Nível
Cálcio Mín-Máx.	90-110 g/kg
Cobalto Mín.	100 mg/kg
Cobre Mín.	1500 mg/kg
Enxofre Mín.	25 g/kg
Flúor Máx.	600 mg/kg
Fósforo Mín.	60 g/kg
Iodo Mín.	301 mg/kg
Selênio Mín.	20 mg/kg
Sódio Mín.	211 g/kg
Zinco Mín.	2500 mg/kg

Durante a execução deste trabalho foi realizada adubação nitrogenada nos BB+N dividida em três aplicações de 50 kg de N/ha em junho, setembro e janeiro, utilizando a ureia como fertilizante. Todas as unidades experimentais receberam adubação de manutenção (fósforo e potássio), em janeiro. Essa aplicação anual foi de 42,5 kg por hectare de potássio na forma de cloreto de potássio e 17,5 kg por hectare de fósforo na forma de superfosfato simples.

3.5 Avaliações

Massa de forragem e estrutura do dossel

A cada 28 dias foram monitoradas as massas pré e pós-pastejo, utilizando molduras de 1 m² (1 x 1m). A amostragem foi realizada em quatro pontos aleatórios cortados ao nível

do solo em cada unidade experimental. As amostras coletadas foram pesadas e posteriormente misturadas uniformemente por piquetes e uma subamostra de aproximadamente 2 kg de material fresco foi separada. Nas pastagens consorciadas, as amostras foram separadas em gramíneas e leguminosas primeiramente. Posteriormente, em laboratório foi realizada a separação morfológica em lâmina foliar, colmo (colmo + bainha) e material morto, e todos os componentes foram pesados para a predição em kg/ha.

Para determinar o teor de matéria seca (MS), as amostras foram divididas em subamostras, utilizando cerca de 250 g de matéria fresca. Todas as amostras ficaram em estufa de circulação forçada a 55 °C por 72 horas ou até atingir o peso constante. Posteriormente a secagem do material, o teor de MS foi calculado com base na diferença entre o peso inicial e final das amostras após a secagem.

A massa de forragem verde foi considerada como a soma da folha e o caule, excluindo qualquer material morto. Já a massa total engloba tanto o material morto quanto a massa verde, avaliando a biomassa presente na área de estudo. A definição da massa dos piquetes foi fundamental para controlar a oferta de forragem e posterior ajuste da taxa de lotação.

Desempenho animal

Os animais foram introduzidos nas unidades experimentais 30 dias antes do início das avaliações, para adaptação aos tratamentos. Na continuidade, os animais foram pesados mensalmente após um jejum de 15 horas alimentar e hídrico. Dentro de cada estação do ano foram realizadas quatro pesagens. Assim, o ganho médio diário (GMD) foi determinado por meio da inclinação da reta, obtida pela análise de regressão linear dos pesos em função das datas de pesagem.

Inicialmente, a taxa de lotação foi calculada em animais/ha, e em seguida quantificada em unidades animais por hectare (UA), onde 1 UA correspondeu a um animal de 500 kg de peso corporal (ALLEN *et al.*, 2011). A taxa de lotação foi calculada para cada estação considerando a área da unidade experimental, sendo:

$$\text{Taxa de lotação (UA/Ha)} = \left(\left(\frac{A/C}{B/D} \right) * E \right) / F$$

Onde, A é a soma dos kg em dias de pastejo das novilhas reguladoras e das fixas; B é o total de dias correspondente da estação do ano; C e E são o peso médio das novilhas fixas dentro

da estação; D é o tamanho do piquete e F é a unidade animal.

O ganho por área foi quantificado pela multiplicação do GMD e taxa de lotação em animais/ha.

Valor nutritivo da forragem

O valor nutritivo da forragem foi determinado por meio da metodologia de pastejo simulado (“hand plucking”), conforme descrita por Johnson (1978). As coletas foram realizadas durante sete dias de cada estação, amostrando a forragem consumida durante a fase de rebaixamento do dossel dentro do período de ocupação. No tratamento BB+DO, gramíneas e leguminosas foram coletadas, e posteriormente separadas em laboratório.

As amostras de diferentes espécies foram submetidas à secagem em estufa de circulação forçada de ar a 55°C por 72 horas. Após a secagem, uma amostra composta para cada piquete e espécie dentro da estação do ano mensurada foi confeccionada. As amostras compostas foram processadas em moinho tipo Wiley, equipado com peneira de malha de 2 mm, seguida por uma parte da amostra moída com peneira de malha de 1 mm.

Para a determinação do valor nutritivo, as amostras de pastejo simulado foram utilizadas para quantificar os teores de MS, matéria orgânica (MO), fibra indigestível em detergente neutro (FDNi), proteína bruta (PB), cinzas e taninos condensados seguindo os métodos estabelecidos: A) a MS foi obtida por secagem em estufa a 105 °C por 18 horas, conforme o método 934.01 do AOAC (2000); B) a MO foi determinada com base no método 923.03 da AOAC (2000), onde 2 g de amostra foram pesadas em uma balança analítica de quatro casas. As amostras foram alocadas em um forno mufla e após atingir a temperatura de 600 °C permaneciam por quatro horas, sendo posteriormente pesadas. A concentração de matéria orgânica foi definida pela diferença entre a matéria seca e as cinzas. C) as amostras foram incubadas no rúmen por 288 horas para determinação de FDNi, seguindo o método de Huhtanen *et al.* (1994) adaptada por Casali *et al.* (2009), utilizando duas novilhas fistuladas com dieta a base de capim-marandu. D) O teor de PB foi mensurado com base na concentração de nitrogênio presente na amostra, multiplicando a concentração de nitrogênio pelo fator de correção ($PB = N \text{ total} * 6,25$). Para a determinação do teor de nitrogênio, uma moagem adicional das amostras foi realizada usando um moinho de rolos semelhante ao descrito por Arnold e Schepers (2004). As concentrações de N foram determinadas dessas amostras finamente moídas (< 100 mesh) usando um analisador elementar automatizado C–H–N (modelo Elementar Vario Macro Cube; método 972.43; AOAC 2016). E) determinação

da concentração de taninos condensados seguiu o método de Poter et al. (1985). Cerca de 0,20 g de amostra foi precisamente pesada em balança analítica de quatro casas decimais e reservadas em tubos de 25 mL, para posteriormente adicionar 10 mL de acetona 70% em cada amostra. Os tubos foram submetidos a 20 minutos em banho de ultrassom a 4°C, seguido de centrifugação a 3000 rpm por 10 minutos a 4°C. Em seguida, 0,5 mL do sobrenadante foi transferido para um segundo tubo e adicionado 3 mL de butanol-HCL e 0,1 mL de ácido férrico. Essa solução foi levada a banho maria de 70 a 100°C por 40 minutos. A leitura da absorbância foi feita em comprimento de onda de 550 nm em um espectrofotômetro de colorimetria.

Consumo de forragem

A produção fecal e o consumo de forragem envolveram diferentes etapas metodológicas e foram avaliadas a cada estação, sendo quantificadas por meio da produção fecal e a ingestão de fibra em detergente neutro indigestível.

A estimativa da produção fecal foi realizada com base na metodologia de Titgemeeyer et al. (2001), utilizando dióxido de titânio como marcador externo. Dez gramas do indicador por animal e por dia foram administrados durante 12 dias consecutivos, sendo seis dias de adaptação e sete dias de coleta. Durante as coletas, as novilhas foram conduzidas diariamente as 07:00 horas da manhã ao brete de contenção para a realização da coleta de amostras fecais diretamente no reto. Após a coleta, as amostras foram submetidas à secagem em estufa de circulação forçada a 55°C por 72 horas, e uma amostra composta de cada animal foi formada por estação do ano. Posteriormente, essas amostras compostas foram moídas em um moinho do tipo Wiley, com peneiras de malha de 1 e 2 mm. As amostras fecais foram avaliadas para concentração de dióxido de titânio, conforme o método de Myers et al. (2004). A produção fecal foi determinada pela seguinte equação:

$$PF = \frac{Ti_{diário}}{Ti_{fecal}}$$

Onde, PF é a produção fecal diária (kg Ms/dia); $Ti_{diário}$ corresponde a quantidade de dióxido de titânio oferecido (10 g/dia) e Ti_{fecal} a concentração de dióxido de titânio (g/kg) nas fezes.

O consumo de forragem foi estimado a partir da excreção fecal e da fibra em detergente neutro indigestível (FDNi) do pastejo simulado de cada estação, pois a excreção fecal de FDNi é correspondente ao consumo de FDNi. Amostras de fezes foram quantificadas para

FDNi, seguindo o método descrito acima. Dessa forma, utilizou-se a excreção fecal para encontrar a excreção diária de FDNi nas fezes. Depois disso, as amostras de FDNi do pastejo simulado foram utilizadas para prever o consumo de forragem.

No tratamento de pastagem consorciada, a proporção de gramínea e leguminosa no consumo de forragem foi estimada utilizando a metodologia de isótopos $\delta^{13}\text{C}$ pela equação:

$$\%C_{\text{leguminosa}} = 100 \times \left[\frac{(\delta^{13}\text{C}_{\text{Br}} - \delta^{13}\text{C}_{\text{MP}})}{(\delta^{13}\text{C}_{\text{Br}} - \delta^{13}\text{C}_{\text{Leg}})} \right]$$

Sendo a $\%C_{\text{leguminosa}}$ a proporção de carbono presente nas amostras de resíduo de FDNi das fezes dos animais na pastagem consorciada, $\delta^{13}\text{C}_{\text{MP}}$ são os valores de abundância de ^{13}C em amostras de resíduo de FDNi das novilhas alimentados em pastagens mistas; $\delta^{13}\text{C}_{\text{Leg}}$ é a abundância ^{13}C de amostras de leguminosa (-28,015‰) e $\delta^{13}\text{C}_{\text{Br}}$ é a abundância de ^{13}C de amostras de gramínea (-13,213‰) derivadas do resíduo de FDNi do pastejo simulado.

Para análise de $\delta^{13}\text{C}$, as amostras foram moídas até formar um pó fino em moinho de rolo semelhante ao descrito por Arnold e Scherpers (2004). Subamostras entre 300 e 500 μg foram utilizadas para análise de abundância de ^{13}C usando a espectrometria de massa de razão isotópica de fluxo contínuo automático, em espectrômetro de massa Finnigan Delta V acoplado à saída de um analisador de total de C e N EA 1108 Carlo Erba (Finnigan MAT) no laboratório da Embrapa Agrobiologia.

O consumo de MS, MO, PB e taninos condensados foram calculados pela concentração do elemento na dieta consumida. A concentração de nutrientes na dieta foi calculada pela concentração do nutriente dividido pelo consumo de forragem. Os coeficientes de digestibilidade aparente da MS, MO e PB no trato digestivo total foram determinados através da excreção fecal (MYERS E ROBBINS, 1991). As concentrações de MS, cinzas, MO e PB nas amostras fecais foram analisadas conforme descrito para amostras de pastejo simulado. A digestibilidade total (g/kg) foi calculada como: (%MS e nutrientes da dieta - %MS e nutrientes nas fezes) / (%MS e nutrientes da dieta). Foram calculados os coeficientes de digestibilidade para MS, MO e PB.

Síntese de proteína microbiana

Amostras de urina foram coletadas a cada estação por meio de estimulação da vulva para micção. A coleta de urina foi realizada simultaneamente à coleta de fezes. Foi utilizada uma fração de 12 ml de urina que foi diluída em 48 ml de ácido sulfúrico 0,02 N (H_2SO_4)

(CHEN E GOMES, 1992). As amostras foram congeladas e após a coleta de sete dias, uma amostra composta foi confeccionada e armazenada em frascos plásticos a -20 °C. As amostras de urina foram analisadas para a concentração de N, alantoína, ácido úrico, creatinina e ureia.

A concentração de creatinina foi determinada utilizando um kit comercial (Creatinina K, Labtest). Sua mensuração é fundamental, pois trata-se de um marcador para avaliação do volume diário de urina, obtida através da equação de Silva *et al.* (2012):

$$VU = (0,0345 \times SBW^{0,9491})/UC_c$$

Onde, VU (L/dia) corresponde a produção diária de urina, SBW é o peso de corpo vazio e a UC_c (g/L) a concentração de creatinina encontrada.

A concentração de alantoína foi quantificada utilizando hidróxido de sódio, ácido clorídrico, fenilhidrazina e ferrocianeto, seguindo o método descrito por Chen e Gomes (1992). Por meio de um kit comercial (ácido úrico monorreagente, Bioclin) determinou-se a concentração de ácido úrico.

A síntese microbiana de nitrogênio (g N/dia) foi estimada utilizando a técnica dos derivados de purina na urina. Sua excreção foi determinada com a soma das excreções de alantoína e ácido úrico (mmol/dia). A absorção diária de purinas e a produção de N microbiano ruminal (g/dia) foram calculadas usando as equações de Chen & Gomes (1992). As excreções diárias de alantoína e ácido úrico foram obtidas multiplicando suas concentrações pelo volume urinário diário.

A eficiência da síntese microbiana no rúmen (g de N microbiano/kg de matéria orgânica digestível) foi calculada pela divisão da produção de N microbiano ruminal pela ingestão de matéria orgânica digestível (kg/dia).

Balanco de nitrogênio

Para determinar o balanço total de N, subtraiu-se o N total excretado (N excretado nas fezes e na urina) do N ingerido, assim representando o N que o animal reteve. Para isso, as amostras de fezes e urina foram avaliadas para concentração de N seguindo o método 992.23 da AOAC (2016).

O total do N excretado nas fezes é obtido pela multiplicação do N encontrado na amostra de fezes pela produção fecal diária. As excreções diárias de N na urina foram calculadas como a concentração de N da amostra de urina pelo volume urinário diário. A ingestão de N foi encontrada com base no consumo de matéria seca (CMS) e na concentração de N presente nas amostras de forragem consumida obtida do pastejo simulado.

A concentração de ureia foi avaliada nas amostras de urina por meio de um kit comercial (Analisa Gold), e sua excreção diária calculada da mesma forma que excreção de N na urina.

Emissão de metano entérico

Os animais passaram por uma adaptação de 15 dias antes do início das coletas de CH₄, sendo equipados com material semelhante ao utilizado para as coletas, com intuito de reduzir as variações por estresse e o número de perdas durante o procedimento. Para quantificar as emissões de metano entérico utilizou-se a técnica do traçador hexafluoreto de enxofre (SF₆) desenvolvida por Johnson e Johnson (1995). As cápsulas foram confeccionadas pela metodologia de Berndt *et al.* (2014), e calibradas até que a emissão de SF₆ tornasse constante, formando uma curva de calibração, o que torna a emissão de cada cápsula conhecida e possibilita sua utilização na determinação das emissões de CH₄. As novilhas receberam esse material cerca de três dias antes do início da primeira coleta de CH₄, via sondagem, e essas cápsulas apresentaram tempo de vida útil de 18 meses.

As emissões de CH₄ foram avaliadas ao longo de 12 meses, com uma coleta realizada em cada estação do ano, totalizando assim quatro avaliações por ano. Assim, cada novilha foi equipada com um cabresto, contendo um tubo capilar de aço inoxidável com 0,127 mm de diâmetro que é responsável por conduzir o gás eructado até o reservatório de vácuo, denominadas cangas. As cangas estavam com pressão interna inferior a pressão atmosférica, com aproximadamente -14,300 psi, sendo regulada por um sistema de gases com N de alta pureza a uma pressão de aproximadamente 1,5 atmosfera. Em conjunto com a coleta dos animais utilizou-se dois conjuntos (canga + capilar) em dois pontos distantes de toda área experimental, a fim de mensurar as emissões do ambiente (brancos) e assim ao corrigir a emissão do animal.

As coletas foram realizadas durante cinco dias consecutivos, e as amostras coletadas a cada 24 horas. Dessa forma, a cada manhã realizou-se a troca de cangas mantendo sempre o horário do dia anterior. Ao realizar a troca, informações de horário e pressão interna do

equipamento foram registradas. Posteriormente, as amostras de gás foram transferidas para três vacutainers por meio de um sistema de pressão de gás. As amostras de gás foram determinadas para concentração de SF₆ e CH₄ em cromatógrafo gasoso (Agilent HP-6890, Wilmington, DE, USA; and Shimadzu ® GC-2014, Kyoto, Japan) com detectores de ionização de chama e colunas de megabore (0,53 mm, 30m) Plt Hp-Al/M para CH₄ e coluna megabore HP-MolSiv para SF₆. As curvas foram calibradas utilizando padrões de gases com concentrações em ppt (54, 97 e 952) para SF₆ e em ppm para CH₄, (0,996; 4,98; 10,26 e 51,57), conforme Westberg et al. (1998)

Calculou-se a emissão de CH₄ por animal correlacionando o nível conhecido de emissão de SF₆ (WESTBERG *et al.*, 1998), pela seguinte equação:

$$CH_4(\text{emissão}) = QSF_6 \left(\frac{[(CH_4)_y] - (CH_4)b}{[(SF_6)_y] - (SF_6)b} \right)$$

Onde, CH₄ corresponde a emissão por animal; QSF₆ é a emissão de SF₆ conhecida pela cápsula de cada animal; (CH₄)_y é a concentração de CH₄ encontrada; (CH₄)_b é a concentração de CH₄ basal; (SF₆)_y é a concentração de SF₆ coletada e (SF₆)_b é a concentração de SF₆ basal.

A emissão de CH₄ foi mensurada por animal e calculada por unidade de peso corporal e peso metabólico (PC = PV^{0,75}). Também se relacionou as emissões diárias com o consumo de matéria seca (CMS), GMD e por área.

3.6 Análise estatística

As avaliações de características estruturais do dossel, desempenho animal, valor nutritivo da dieta, consumo de forragem, metabolismo de N e das emissões de metano entérico foram representados pela média em cada estação avaliada ao longo dos 18 meses. O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados com três repetições. Os tipos de pastagens incluíram: BB+N, BB e BB+DO, com medidas repetidas ao longo do tempo (estação do ano).

As variáveis mensuradas foram ajustadas pelos modelos mistos (LITTEL *et al.*, 2000) utilizando o PROC MIXED do SAS (SAS Institute, Cary, NC). Efeitos de tratamento, estações do ano e suas interações foram considerados fixos, já bloco e ano foram considerados

efeitos aleatórios. Ao realizar mensurações repetidas na mesma unidade experimental ao longo do tempo, a análise de variância pode ser influenciada pela presença de erros que tendem a aumentar conforme o tempo. Dessa forma, a utilização de uma estrutura de (co)variância foi empregada para minimizar o efeito das mensurações repetidas ao longo do tempo na mesma unidade experimental. O critério escolhido para a estrutura de (co)variância foi o de Akaike (AKAIKE, 1974). As médias foram comparadas pelo teste de Tukey, com probabilidade de 10%. O modelo estatístico utilizado para análise dos dados está descrito abaixo:

$$Y_{ijkz} = \mu + B_i + TP_j + \gamma_{ij} + A_k + E_z + (TP \times A)_{jz} + \varepsilon_{ijkz}$$

Onde, Y_{ijkz} = valor observado no i th – bloco, j th do tipo de pastagem (TP), k th do ano e z th da estação; μ = média geral dos valores observados; B_i = efeito aleatório associado ao bloco; TP_j = o efeito fixo dos tipos de pastagem; γ_{ij} = erro entre a associação bloco e tipos de pastagem; A_k = efeito aleatório associado ao ano; E_z = efeito fixo associado a estação do ano; $(TP \times E)_{jz}$ = efeito da interação entre tipos de pastagem e estação do ano; ε_{ijkz} = erro aleatório associado ao bloco, tratamento, ano e estação.

4 RESULTADOS

4.1 Massa de forragem

Não houve diferença na massa de forragem pré-pastejo entre os tipos de pastagens ($P = 0,440$; Tabela 1), no qual foi encontrado valor médio de 3.351 kg/ha. A massa de gramínea, de gramínea verde e de colmo na condição pré-pastejo foram maiores para BB+N e BB quando comparada ao consórcio BB+DO ($P \leq 0,014$). No tratamento consorciado, a massa de leguminosa na condição pré-pastejo foi de 654 kg/ha, correspondendo a uma proporção de 25,2% na massa de forragem. Não houve diferença na massa de forragem pós-pastejo em função dos tipos de pastagens, com média de 2.603 kg/ha ($P = 0,570$; Tabela 12). A massa de gramínea, de gramínea verde e de colmo na condição pós-pastejo foram maiores para BB+N e BB quando comparadas ao BB+DO ($P \leq 0,008$). No tratamento BB+DO, a massa de leguminosa pós-pastejo foi 539 kg/ha, com a proporção de 26,4% na massa de forragem. Não houve diferença para as massas de folha nas condições pré- ou pós-pastejo, alcançando médias de 1.253 e 846 kg/ha, respectivamente ($P \geq 0,178$).

Maiores massas de forragem e de gramínea na condição de pré-pastejo foram obtidas no outono, mas sem diferença para o verão ($P \leq 0,001$). A massa de gramínea verde e de colmo no pré-pastejo foram maiores para verão e outono quando comparada a inverno e primavera ($P < 0,001$). A massa de folha pré-pastejo foi maior para o verão, mas sem diferença para o outono ($P < 0,001$). No tratamento BB+DO, a massa de leguminosa foi maior no inverno, com participação de 34,5% na massa de forragem. No pós-pastejo a massa de forragem e de colmo de gramínea foram maiores para verão e outono ($P \leq 0,039$) em relação às demais estações do ano. A massa de gramínea no pós-pastejo foi maior no outono em relação ao inverno e primavera, o verão não diferiu entre as demais estações ($P = 0,046$). A massa de gramínea verde e massa de folha de gramínea na condição pós-pastejo foram maiores no verão, mas sem diferença para outono, e outono e primavera, respectivamente ($P \leq 0,033$). A massa de leguminosa pós-pastejo foi maior no inverno (601 kg/ha) e menor na primavera (473 kg/ha). A proporção de leguminosa foi de 29,8% no inverno e sua menor proporção foi 20% no verão na massa de forragem.

Tabela 2: Características estruturais do dossel de pastagens de *Urochloa brizantha* adubadas ou não com nitrogênio ou consorciadas com *Grona heterocarpa*, durante o período experimental.

Item	Tipos de pastagens (TP)			Estação (E)				EPM ^a	P-valor		
	BB+N	BB+DO	BB	Verão	Outono	Inverno	Primavera		TP	E	TP*E
Pré-pastejo											
Massa de Forragem (kg/ha)	3227	3456	3371	3475AB	3991A	3132BC	2808C	296	0,440	<0,001	0,429
Massa de graminea (Kg/ha)	3227a	2865b	3371a	3258AB	3751A	2857BC	2735C	202	0,013	0,001	0,400
Massa de Graminea verde (Kg/ha)	2290a	1942b	2235a	2681A	2486A	1682B	1773B	246	0,014	<0,001	0,644
Massa de folha de graminea (Kg/ha)	1339	1252	1167	1570A	1337AB	923C	1182B	172	0,184	<0,001	0,728
Massa de Colmo de graminea (Kg/ha)	948a	773b	981a	1098A	1146A	756B	603B	92	0,001	<0,001	0,502
Massa de Leguminosa (Kg/ha)	-	654	-	580	688	798	551	165	-	-	-
Composição botânica	-	25,2	-	17,8	24,4	34,5	23,8	5,3	-	-	-
Pós-pastejo											
Massa de Forragem (Kg/ha)	2547	2609	2654	2798A	2951A	2506BC	2257C	261	0,570	0,039	0,770
Massa de graminea (Kg/ha)	2547a	2071b	2654a	2569AB	2765A	2210B	2152B	211	<0,001	0,046	0,596
Massa de graminea verde (Kg/ha)	1816a	1499b	1834a	2052A	1869AB	1419C	1524BC	267	0,008	0,006	0,945
Massa de folha de graminea (Kg/ha)	895	882	762	1018A	839AB	680B	848AB	159	0,178	0,033	0,994
Massa de colmo de graminea (Kg/ha)	915a	732b	947a	1033A	1022A	731B	673B	113	0,001	<0,001	0,761
Massa de leguminosa (Kg/ha)	-	539	-	512	570	601	473	158	-	-	-
Composição botânica	-	26,4	-	20,0	23,1	29,8	23,7	6,6	-	-	-

EPM^a: Erro padrão da média;

BB+N: Tratamento *Urochloa brizantha* fertilizada com 150 kg de N/ha/ano.

BB+DO: Tratamento consórcio de *Urochloa brizantha* e *Grona heterocarpa*;

BB: Tratamento controle, apenas *Urochloa brizantha*;

a-c: Médias apresentadas com letras minúsculas indicam diferença estatística nos tipos de pastagens com $P \leq 0,10$.

A-D: Médias apresentadas com letras maiúsculas indicam diferença estatística nas estações do ano com $P \leq 0,10$.

4.2 Desempenho animal

Não houve diferença para o peso médio, GMD, taxa de lotação e ganho por área entre os tipos de pastagens ($P \geq 0,254$; Tabela 3), com valores médios de 233 kg, 0,460 kg/dia, 1,85 UA/ha e 98,5 kg/ha/estação, respectivamente. Com relação as estações do ano, o peso médio foi maior no outono e menor no inverno ($P < 0,001$). O GMD foi maior no verão, outono e primavera ($P < 0,001$). A taxa de lotação foi maior no verão e menor na primavera ($P < 0,001$), e o ganho por área foi menor no inverno e maior no verão ($P < 0,001$).

A oferta de forragem média para os tipos de pastagens foi em média 3,64% do peso corporal (PC). Menor oferta foi observada no verão (2,84% PC) e maior no outono (4,17% PC).

Tabela 3: Desempenho de novilhas nelores em pastagens de *Urochloa brizantha* pura, adubada com N ou consorciada com *Grona heterocarpa* durante as estações do período experimental (qual?).

Item	Tipos de pastagens (TP)			Estações (E)				EPM ^a	P-valor		
	BB+N	BB+DO	BB	Verão	Outono	Inverno*	Primavera		TP	E	TP*E
Peso medio (kg)	246	227	225	250B	286A	183D	214C	10,6	0,288	<0,001	0,265
GMD* (kg/dia)	0,468	0,429	0,482	0,552A	0,500A	0,282B	0,503A	0,18	0,405	<0,001	0,232
Taxa de lotação (UA/ha)	1,94	1,98	1,63	2,45A	1,91B	1,61BC	1,43C	0,53	0,254	<0,001	0,119
Ganho por area (kg/ha/estação)	102	92,5	101	155A	97,3B	26,9C	115B	37,2	0,785	<0,001	0,06

EPM^a: Erro padrão da média.

Inverno*: substituição dos animais.

*GMD: Ganho médio diário.

BB+N: Tratamento *Urochloa brizantha* fertilizada com 150 kg de N/há/ano.

BB+DO: Tratamento consórcio de *Urochloa brizantha* e *Grona heterocarpa*.

BB: Tratamento controle, apenas *Urochloa brizantha*.

a-c: Médias apresentadas com letras minúsculas indicam diferença estatística nos tipos de pastagens com $P \leq 0,10$.

A-D: Médias apresentadas com letras maiúsculas indicam diferença estatística nas estações do ano com $P \leq 0,10$

4.3 Valor nutritivo

Para o valor nutritivo do capim-marandu não houve diferença nos teores de MO, FDNi e TC entre os tipos de pastagens ($P \geq 0,562$; Tabela 4). O teor de MO no capim-marandu foi maior no verão e menor no outono e primavera ($P < 0,001$). O teor de FDNi foi maior no inverno e menor no outono e primavera ($P < 0,001$). A concentração de TC no capim-marandu foi maior no outono e inverno e menor no verão e primavera ($P = 0,030$). O teor de PB no capim-marandu foi semelhante entre os tipos de pastagens nas estações verão e outono (Figura 2). No entanto, no inverno maior teor de PB foi observado no tratamento BB+ N; enquanto que na primavera, maiores teores de PB no capim-marandu foram obtidos no BB+DO e BB. De maneira geral, o outono e primavera apresentaram os maiores valores de PB no capim-marandu.

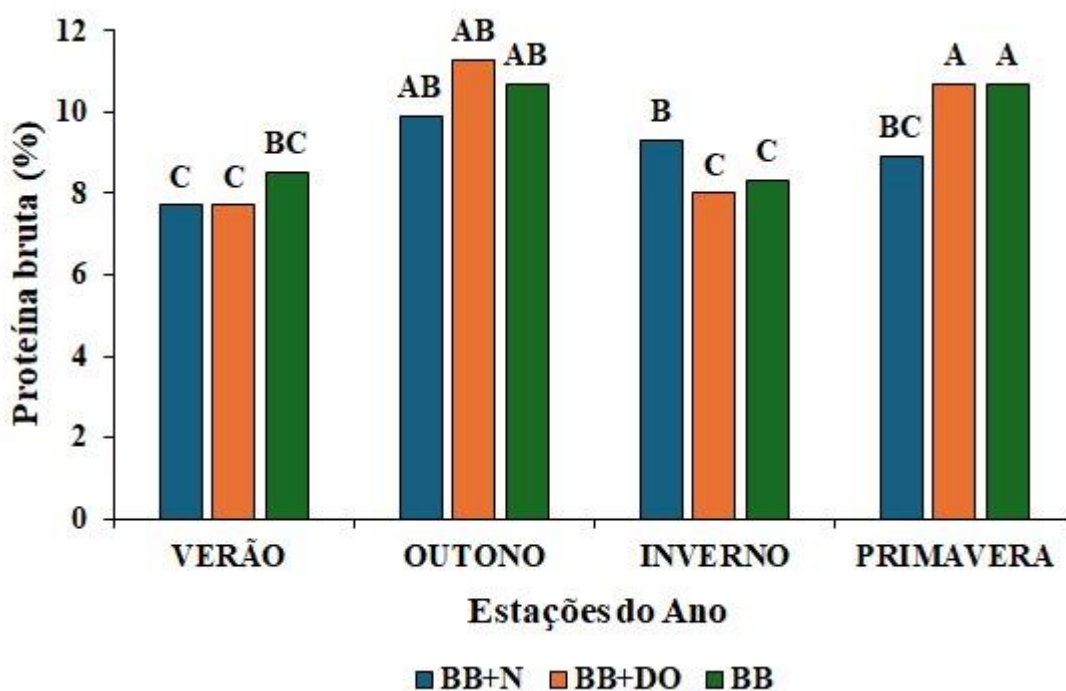


Figura 2: Teor de PB na *Urochloa brizantha*, em cada tipo de pastagem. A-C: letras maiúsculas indicam diferença estatística com $P \leq 0,10$.

O valor nutritivo médio do desmódio no pastejo simulado foi de: MO 95,1%, FDNi 39,8%, PB 10,7% e TC 7,64%. A variação do valor nutritivo do desmódio ao longo do experimento foi de 95,4% no inverno a 94,6% na primavera para MO; de 48,7% no inverno a 33,5% no outono para FDNi; de 13,0% no outono a 9,44% no inverno para PB; e 11,0% na primavera a 4,48% no verão para TC no desmódio.

4.4 Dieta

Ao avaliar a dieta dos animais entre os tipos de pastagens ($P \leq 0,007$; Tabela 4), maiores teores de MO, FDNi e TC foram observados no BB+DO, quando comparadas à BB+N e BB. As concentrações de N e PB na dieta foram maiores no BB+DO, mas sem diferença entre as pastagens puras de BB ($P=0,004$). A concentração de PB e N na dieta foram maiores no outono e menores no verão ($P<0,001$). A MO na dieta foi maior no verão e menores no outono e primavera ($P<0,001$). A concentração de FDNi na dieta foi maior no inverno e menor na primavera ($P<0,001$). Já a concentração de TC na dieta foi maior no verão e menores no outono e inverno, com valor médio de 0,45% da MS ($P=0,080$).

4.5 Consumo

Não houve diferença entre os tipos de pastagem no consumo de MS, MO, PB e FDNi ($P \geq 0,518$; Tabela 4), com valores médios de 1,88; 1,74; 0,173 e 0,375% do PC, respectivamente. Na pastagem BB+DO, a proporção de leguminosa no consumo de forragem foi de 12%. Maior e menor participação do desmódio no consumo de forragem foi observado no inverno (19%) e na primavera (5%) (danos não mostrados). Maior consumo de TC em função do peso corporal foi obtido no tratamento BB+DO ($P<0,001$). Maior consumo de MS, MO e PB pelas novilhas foram encontrados na primavera e menores no inverno ($P \leq 0,012$). Já o consumo de FDNi foi maior no verão e inverno ($P=0,022$) e o consumo TC foi maior no verão e menor no inverno ($P<0,001$).

4.6 Digestibilidade

Não houve diferença na digestibilidade de MS, MO e PB quanto aos tipos de pastagens ($P \leq 0,179$; Tabela 3), tendo sido encontrado valores médios de 54,3; 57,5 e 45,9%, respectivamente. A digestibilidade da MS e MO foram maiores na primavera e menores no inverno ($P<0,001$). A digestibilidade da PB foi maior no outono e primavera e menor no inverno ($P<0,001$).

Tabela 4: Valor nutritivo do capim-marandu, e dieta, consumo e digestibilidade aparente da forragem consumida por novilhas nelores em pastagens de *Urochloa brizantha* pura, adubada com N ou consorciada com *Grona heterocarpa* durante as estações do período experimental.

Item	Tipos de pastagens (TP)			Estação (E)				EPM ^a	P-valor		
	BB+N	BB+DO	BB	Verão	Outono	Inverno	Primavera		TP	E	TP*E
Valor nutritivo do capim-marandu, % MS											
MO	92,5	92,4	92,4	93,4A	92,0C	92,5B	91,8C	0,21	0,968	<0,001	0,622
FDNi	20,1	21,9	21,6	19,8B	17,9C	30,9A	16,2C	2,0	0,562	<0,001	0,120
TC	0,09	0,10	0,09	0,05B	0,11A	0,10A	0,07B	0,03	0,841	0,030	0,500
Dieta %MS											
MO	92,4b	92,9a	92,4b	93,5A	92,2C	92,7B	91,9C	0,23	0,007	<0,001	0,484
N	1,43b	1,53a	1,49ab	1,29C	1,72A	1,38C	1,54B	0,05	0,040	<0,001	0,124
PB	8,9b	9,6a	9,3ab	8,1C	10,8A	8,6C	9,6B	0,29	0,040	<0,001	0,124
FDNi	20,4b	24,9a	21,3b	20,7B	18,9BC	32,2A	16,9C	0,70	<0,001	<0,001	0,506
TC	0,09b	1,42a	0,09b	0,66A	0,42B	0,47B	0,53AB	0,07	<0,001	0,080	0,390
Consumo (%PC)											
MS	1,93	1,76	1,96	2,11AB	1,62BC	1,39C	2,42A	0,20	0,755	0,012	0,436
MO	1,79	1,63	1,81	1,97AB	1,50BC	1,29C	2,22A	0,19	0,770	0,012	0,441
PB	0,172	0,165	0,181	0,169B	0,170B	0,118C	0,234A	0,02	0,841	0,003	0,728
FDNi	0,358	0,358	0,412	0,414A	0,285B	0,426A	0,379AB	0,04	0,518	0,022	0,877
TC	0,0011b	0,0785a	0,0016b	0,0480A	0,023BC	0,0123C	0,0257B	0,0064	<0,001	<0,001	0,111
Digestibilidade aparente (%PC)											
MS	56,9	52,4	53,7	56,0B	54,5B	43,2C	63,6A	1,71	0,179	<0,001	0,496
MO	59,9	55,6	57,1	58,8B	57,0B	48,1C	66,2A	1,68	0,223	<0,001	0,442
PB	47,8	44,0	45,8	41,6B	53,1A	33,2C	55,4A	2,56	0,569	<0,001	0,568

MO: Matéria orgânica; FDNi: Fibra indigestível em detergente neutro; TC: Taninos condensados; N: Nitrogênio; PB: Proteína bruta; MS: Matéria seca.

EPM^a: Erro padrão da média.

BB+N: Tratamento *Urochloa brizantha* fertilizada com 150 kg de N/ha/ano.

BB+DO: Tratamento consórcio de *Urochloa brizantha* e *Grona heterocarpa*.

BB: Tratamento controle, apenas *Urochloa brizantha*.

a-c: Médias apresentadas com letras minúsculas indicam diferença estatística nos tipos de pastagens com $P \leq 0,10$.

A-D: Médias apresentadas com letras maiúsculas indicam diferença estatística nas estações do ano com $P \leq 0,10$.

4.7 Metabolismo de Nitrogênio

Não houve diferença entre os tipos de pastagens no consumo de matéria orgânica digestível (CMOD), consumo de nitrogênio (CN), nitrogênio excretado nas fezes (NEF) e nitrogênio retido (NR) ($P \geq 0,728$; Tabela 5), alcançando valores médios de 2,54 kg/dia, 65,7 g/dia, 33,1 g/dia e 16,6 g/dia, respectivamente. A síntese de proteína microbiana (Pmic) e a eficiência de síntese de proteína microbiana (ESPmic) foram maiores no tipo de pastagem BB+DO e menor no BB ($P \leq 0,040$). Maior relação consumo de proteína bruta (CP)/MOD foi obtida no tratamento BB+DO ($P=0,081$). A excreção de N urinário (NEU) e de N ureico na urina (UU) foram maiores no tipo de pastagem BB+N e menores no BB+DO ($P \leq 0,003$). A relação Pmic/CP foi maior no BB+N e BB+DO em comparação ao BB ($P=0,050$).

O CMOD e o CN pelas novilhas foram maiores na primavera e menores no inverno ($P < 0,001$). A relação CP/MOD, a ESPmic e a relação PM/CP foram maiores no outono e inverno e menores na primavera e verão ($P \leq 0,001$). A síntese de Pmic foi maior no outono, quando comparada as demais estações do ano ($P=0,040$). A excreção de N na urina e nas fezes e a quantidade de N retido pelo animal foram menores no inverno, comparado às demais estações do ano ($P \leq 0,086$). A UU foi maior na primavera e menor no outono ($P < 0,001$).

Tabela 5: Metabolismo do nitrogênio de novilhas nelores em pastagens de *Urochloa brizantha* pura, adubada com N ou consorciada com *Grona heterocarpa* durante as estações do período experimental.

Item	Tipos de pastagens (TP)			Estação (E)				EPM ^a	P-valor		
	BB+N	BB+DO	BB	Verão	Outono	Inverno	Primavera		TP	E	TP*E
CMOD (kg/dia)	2,78	2,40	2,45	2,95AB	2,50B	1,11C	3,62A	0,42	0,789	<0,001	0,259
CN (g/dia)	66,3	64,4	66,3	68,0B	77,1AB	34,6C	82,9A	8,4	0,825	<0,001	0,675
CP/MOD (g/kg)	166,5b	191,4a	181,1ab	147,2B	211,4A	195,6A	164,5B	7,50	0,081	<0,001	0,109
Pmic (g/dia)	257,0ab	314,3a	191,7b	187,6B	459,6A	190,5B	179,7B	31,3	0,040	0,004	0,720
ESPmic (g de Pmic/kg de MOD)	145,7ab	168,2a	83,1b	65,5B	223,3A	204,1A	36,4B	31,1	0,036	<0,001	0,458
NEU (g/dia)	19,4a	12,8b	16,1ab	18,1A	22,8A	8,9B	14,6A	2,23	0,003	<0,001	0,125
NEF (g/dia)	33,9	31,8	33,6	38,6A	34,7A	23,2B	35,7A	3,13	0,928	0,003	0,149
NR (g/dia)	13	19,9	16,6	11,3BC	19,6AB	2,54C	32,6A	7,67	0,728	0,086	0,899
UU (mg/dl)	349,2a	272,1b	242,2b	417,0A	134,9C	215,8B	383,5A	34,9	0,008	<0,001	0,390
PM/CPB (g/kg)	830,0a	836,9a	459,0b	458,8B	1031,4A	1035,1A	309,3B	126,7	0,050	0,001	0,162

EPM^a: Erro padrão da média.

CMOD: Consumo de matéria orgânica digestível (kg/dia).

CN: Consumo de nitrogênio (g/dia).

CP/MOD: Consumo de proteína/matéria orgânica digestível (g/dia).

Pmic: Proteína microbiana (g/dia).

ESPmic: Eficiência de síntese de proteína microbiana (g de proteína microbiana/kg de matéria orgânica digestível).

NEU: Nitrogênio excretado na urina (g/dia).

NEF: Nitrogênio excretado nas fezes (g/dia).

NR: Nitrogênio retido (g/dia).

UU: Ureia na Urina (mg/dl).

PM/CPB: Proteína metabolizável/consumo de proteína bruta (g/kg).

BB+N: Tratamento *Urochloa brizantha* fertilizada com 150 kg de N/há/ano.

BB+DO: Tratamento consórcio de *Urochloa brizantha* e *heterocarpa*.

BB: Tratamento controle, apenas *Urochloa brizantha*.

a-c: Médias apresentadas com letras minúsculas indicam diferença estatística nos tipos de pastagens com $P \leq 0,10$.

A-D: Médias apresentadas com letras maiúsculas indicam diferença estatística nas estações do ano com $P \leq 0,10$.

4.8 Emissão de metano entérico

Menores emissões de metano entérico diárias por animal foram encontradas nas novilhas no BB+DO, onde houve uma mitigação de 25% das emissões de metano (Figura 3) quando comparadas aos tipos de pastagens BB e 28% quando comparado às novilhas em pastejo no tipo de pastagem BB+N ($P < 0,001$; Tabela 5).

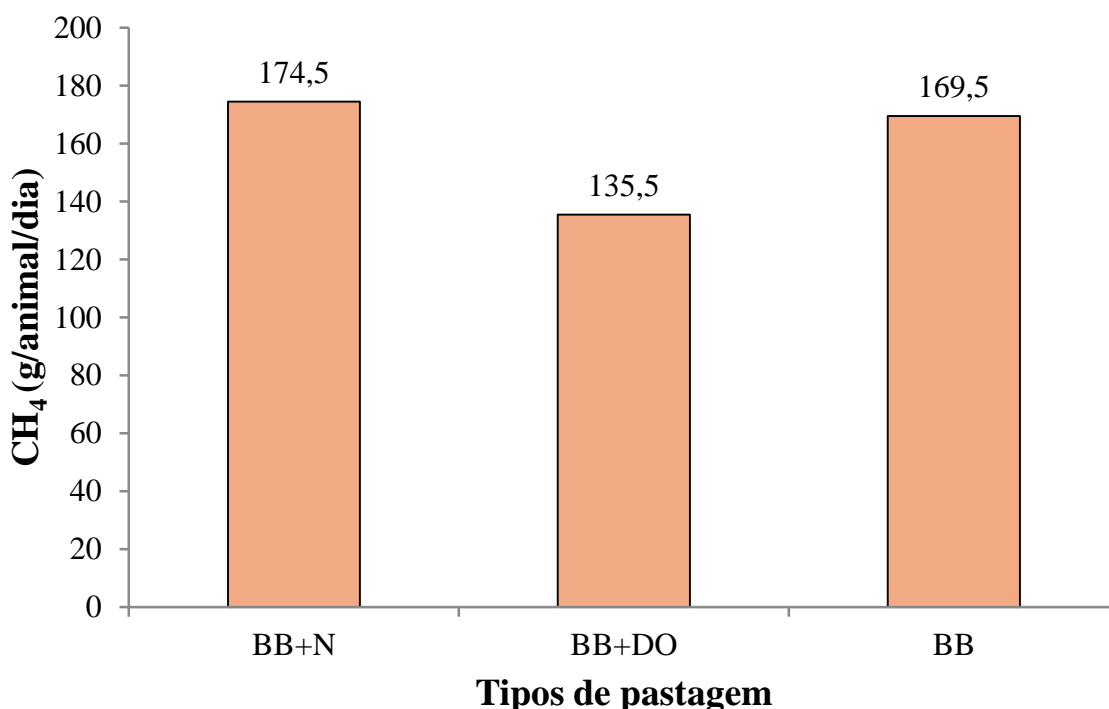


Figura 3: Emissão de CH₄ entérico em gramas por animal por dia de nelores em pastagens de *Urochloa brizantha* pura, adubada com N ou consorciada com *Grona heterocarpa* durante as estações do período experimental.

Ao avaliar as emissões de CH₄ por peso corporal e peso metabólico, menores emissões foram observadas nas novilhas pastejando o tipo de pastagem BB+DO ($P \leq 0,013$; Tabela 6). Além disso, menor intensidade de emissão de CH₄ por GMD e emissão por CMS foram encontradas nos animais do tipo de pastagem BB+DO ($P \leq 0,074$). As emissões de CH₄ por área foram maiores no tipo de pastagem BB+N ($P = 0,055$). Não houve diferença estatística na emissão de CH₄ em função do GMD ao longo das estações do ano ($P = 0,188$). As emissões de CH₄ por peso corporal e peso metabólico foram maiores no outono e menores no inverno ($P < 0,001$). A emissão de CH₄ em função do CMS foi maior no outono e menor na primavera ($P = 0,010$). A emissão de CH₄ por área foi menor no inverno e na primavera, quando comparada ao verão e outono ($P < 0,001$).

Tabela 6: Emissão de metano entérico de novilhas nelores em pastagens de *Urochloa brizantha* pura, adubada com N ou consorciada com *Grona heterocarpa* durante as estações do período experimental.

Item	Tipos de pastagens (TP)			Estação (E)				EPM ^a	P-valor		
	BB+N	BB+DO	BB	Verão	Outono	Inverno	Primavera		TP	E	TP*E
CH ₄ /PC (g/kg)	0,660ab	0,590b	0,739a	0,735AB	0,817A	0,424C	0,677B	0,031	0,013	<0,001	0,662
CH ₄ /PM (g/kg)	2,64a	2,30b	2,86a	2,91B	3,33A	1,56C	2,60B	0,11	0,001	<0,001	0,556
CH ₄ /GMD (g/kg)	640 ^a	537b	528b	491	672	544	567	55	0,019	0,188	0,290
CH ₄ /CMS (g/kg)	41,8a	35,5c	39,1b	36,6B	54,1a	35,4B	29,1C	2,2	0,074	0,010	0,324
CH ₄ /área (kg/ha/estação)	79,2a	68,9b	78,9a	108,9 ^a	97,3B	44,7C	51,8C	4,1	0,055	<0,001	0,528

EPM^a: Erro padrão da média.

CH₄/PC: Emissão de Metano entérico por kg de peso corporal (g/kg).

CH₄/PM: Emissão de Metano entérico por peso metabólico (g/kg).

CH₄/GMD: Emissão de Metano entérico por ganho médio diário (g/kg).

CH₄/área: Emissão de Metano entérico por área a cada estação (g/kg).

BB+N: Tratamento *Urochloa brizantha* fertilizada com 150 kg de N/há/ano.

BB+DO: Tratamento consórcio de *Urochloa brizantha* e *Grona heterocarpa*.

BB: Tratamento controle, apenas *Urochloa brizantha*.

a-c: Médias apresentadas com letras minúsculas indicam diferença estatística nos tipos de pastagens com $P \leq 0,10$.

A-D: Médias apresentadas com letras maiúsculas indicam diferença estatística nas estações do ano com $P \leq 0,10$.

5 DISCUSSÃO

No presente trabalho, não houve diferença no ganho por área e nem na taxa de lotação. No entanto, em valores absolutos as pastagens BB+N e BB+DO tiveram uma taxa de lotação média de 20,24% superiores a obtida na pastagem BB. Enquanto os ganhos de peso diário e por unidade de área dos animais manejados na pastagem BB+DO foram 10,72% e 9,73% inferiores aos ganhos obtidos pelos animais nas demais pastagens, respectivamente. O desempenho animal à pasto é definido por dois principais fatores: performance individual do animal representado pelo GMD e taxa de lotação (JONES E SANDLAND, 1974; SCHLEGEL *et al.*, 2000). O GMD reflete a eficiência individual dos animais na ingestão e digestibilidade de nutrientes; enquanto a taxa de lotação é determinada pela capacidade produtiva da área. Assim, ambos irão influenciar a produtividade total do sistema (CHAPMAN *et al.*, 2007).

A taxa de lotação semelhante entre os tratamentos, independente da entrada de N no sistema, seja pela adubação ou FBN (BODDEY *et al.*, 2020), pode ser devido a fatores decorrentes de manejo da pastagem e dos animais na fase experimental associados as condições climáticas reinantes.. Esse resultado difere de Santos *et al.* (2022), que registraram efeito sobre a taxa de lotação ao utilizar critérios experimentais semelhantes. Vale ressaltar que no intervalo entre o término do trabalho de campo de Santos *et al.* (2022), de 2019 a 2022, e o início do presente estudo, a área experimental foi mantida conforme a metodologia prescrita, incluindo manejo dos animais, entretanto com ajustes de lotação mais lenientes, já que as fertilizações de manutenção não foram realizadas. Acredita-se que esta condição tenha levado a perda das características estruturais dos pastos, retornando à condição inicial, uma vez que no período de quatro a cinco anos, as pastagens perdem suas características sendo necessária a implantação novamente dos tratamentos (CORSI; MARTHA JUNIOR. 1997; RUELE *et al.*, 2022).

Além disso, a taxa de lotação exerce influência direta sobre a ciclagem de N, uma vez que o manejo afeta a dinâmica de deposição do material vegetal. Nas condições de sublotação prévias a este experimento, pode ter levado ao aumento na deposição de material senescente (BATISTA *et al.*, 2023). Dessa forma, Boddey *et al.* (2004) reportam que sob baixas taxas de lotação, mesmo o material depositado diminuindo sua qualidade, ocorre aumento na quantidade de serapilheira depositada, com isso favorecendo a uma maior ciclagem de N.

Os fatores climáticos observados ao longo deste experimento não demonstraram estações bem definidas (verão, outono, inverno e primavera), o que é característico da região

onde está localizada a área experimental, com temperatura média anual de 25°C e precipitação acumulada anual de 840,01 mm. Supõe-se que este padrão favoreceu a ciclagem de N via deposição de serapilheira, conforme reportado por Homem *et al.* (2021) que relataram maior ciclagem de N e deposição de serapilheira nas estações quentes e úmidas. Assim, o presente experimento ocorreu em uma localização com boas condições climáticas, aliadas a maior ciclagem via deposição de serapilheira, pode ter ocasionado um maior aporte de N, mesmo no tipo de pastagem BB. Diante desse fato, a ausência de manejo ao longo durante esse período com esse potencial de ciclagem possivelmente explica a ausência de efeito na taxa de lotação no primeiro ano do experimento.

Como os tratamentos estavam sob a mesma meta de manejo (RAYBURN, 1986), a similaridade na estrutura do dossel contribuiu para a ausência de diferenças no CMS (HOMEM, *et al.*, 2020). Neste experimento não foi observado diferença no GMD entre os tipos de pastagens. Os fatores determinantes para o GMD é CMS e digestibilidade da dieta ingerida, os quais permaneceram semelhantes no presente experimento. A ausência de diferença no CMS neste estudo pode ser atribuída a semelhança da estrutura do dossel, que é o principal limitador de consumo de forragem a pasto (DA SILVA *et al.*, 2013; DUMONT *et al.*, 2007). No presente experimento a massa de colmo maior no BB+N não influenciou o CMS. Em contraste com o presente experimento, Santos *et al.* (2022) observaram que o GMD dos animais também foi menor no BB+DO, com 0,350 kg/dia, no entanto com uma de lotação de 3,44 UA/ha, superior a observada nesse estudo, quando em comparação com as pastagens de capim-marandu com ou sem adubação nitrogenada. Os autores reportam neste trabalho que o menor GMD das novilhas no tratamento BB+DO foi em função da menor digestibilidade aparente da MS e uma tendência a menor digestibilidade aparente da FDN neste tratamento.

Assim, os animais não apresentaram diferença no CMS entre os tipos de pastagens, com valor médio de 1,88% do PC. A ausência de efeito no CMS entre os tipos de pastagens corrobora com os dados encontrados por Santos *et al.* (2022) e Homem *et al.* (2021b). Além disso, o CMS atendeu as exigências descritas por Benetedi *et al.* (2016) para novilhas zebuínas em pastagens. Porém, mesmo com a ausência da diferença no CMS, houve diferença no consumo de TC presentes no BB+DO, levando a um consumo de cerca de 59 vezes mais TC pelas novilhas no tratamento BB+DO do que as novilhas pastejando tipos de pastagens exclusivos de gramíneas. Esse aumento expressivo no consumo de TC pode ter impactado diretamente a emissão de metano entérico neste tratamento.

A produção de CH₄ no ambiente ruminal ocorre fisiologicamente durante o processo de fermentação, sendo um mecanismo de descarte do H₂ (NAUMANN *et al.*, 2017; MILLEN, 2023). No entanto, este processo resulta em perda da eficiência energética. Plantas que possuem em sua composição TC, por sua vez, apresentam capacidade de mitigar as emissões de CH₄ entérico e tornar a produção animal mais sustentável. No presente estudo, as novilhas pastejando pastos com leguminosas reduziram as emissões de metano entérico em 25% e reduziram a excreção de N urinário em 28%. Além disso, o desmódio em consórcio impactou na redução de CH₄ para todas as variáveis avaliadas (por animal, por PC, PM, GMD, CMS e por área). Esses resultados são coerentes com os dados encontrados por Homem *et al.* (2024), que reportaram consumo de TC por novilhas nelores na média de 42 g/dia e mitigação 11,6% nas emissões de CH₄ em relação aos animais mantidos em monocultura. Nos dados encontrados por Furtado *et al.*, (2023), utilizando o feijão guandu (*Cajanus cajan*) em pastagens consorciadas, os animais no tratamento consorciado consumiram 204 g/dia de TC e houve uma redução de 29% nas emissões de metano comparada as pastagens degradadas.

Os TC são considerados compostos bioativos presentes em diversas plantas forrageiras, podendo auxiliar em uma redução na emissão de CH₄ de até 50% (ABOAGYE & BEAUCHEMIN, 2019). Seus efeitos na metanogênese são pouco conhecidos, mas evidências sugerem que reduzem a população de protozoários, são capazes de modular a fermentação ruminal, inibem as *Archaeas metanogênicas* por meio de sua ação antimicrobiana e por meio da ação “eletron sink”, reduzem a disponibilidade de H⁺ no rúmen (GOMES, *et al.*, 2024; NAUMANN *et al.*, 2017, NG *et al.*, 2016). Portanto, a presença de desmódio nas pastagens aumentou o consumo de TC, e conseqüentemente, a mitigação de CH₄.

Mesmo com consumo semelhante de N e de matéria orgânica digestível das novilhas entre os tipos de pastagens, a maior relação entre o consumo de proteína e a digestibilidade da matéria orgânica explicam a maior eficiência de síntese de proteína microbiana pelo melhor sinergismo entre energia:proteína (VAN SOEST, 2018). Pelo modelo de Cornell, a PB é fracionada em: A (rapidamente degradável), B (potencialmente digestível) e C (indigestível) (TYLUTKI *et al.*, 2008). Além disso, a fração B é dividida em três grupos: B1, B2 e B3; a fração B1 refere-se à proteína verdadeira solúvel, apresenta uma taxa de degradação (Kp) de 45%h e uma taxa de passagem (Kp) na fase líquida da digesta de 100%; a fração B2 é composta por proteínas solúveis em detergente neutro, seu Kp varia de 5-12%h sendo 100% digestível; e a fração B3 é caracterizada por proteínas insolúveis, geralmente ligadas a fibra em detergente neutro apresentando valores de Kp de 1 a 15%h e a sua digestibilidade

intestinal total é reduzida a 80%. Leguminosas apresentam a maior parte da sua proteína bruta nas frações B2 e B3, o que acarreta em um comportamento mais lento na liberação de amônia no rúmen, melhorando o aproveitamento do N ruminal e aumentando o sinergismo com a degradabilidade de carboidratos, assim maximizando a síntese de proteína microbiana. O sinergismo entre a disponibilidade de MOD e o CN é fundamental para a eficiência de síntese de proteína microbiana. A Pmic é formada pela incorporação de nitrogênio em esqueletos de carbono derivados da metabolização de carboidratos (HUWS *et al.*, 2018). Assim, a maior eficiência de síntese de Pmic observada no BB+DO (168,2 g de Pmic/ Kg de MOD) pode ser explicada pela liberação mais lenta de N proveniente das leguminosas, combinada a liberação de carboidratos (GOMES *et al.*, 2024; NIYIGENA *et al.*, 2024).

A excreção de N na urina foi menor para os animais mantidos nos tipos de pastagens BB+DO, o que pode ser atribuído a dois principais fatores: o efeito dos TC sobre a proteína e o consumo de PB. O efeito dos TC é pouco esclarecido pela literatura, entretanto sabe-se que formam complexos estáveis com a proteína, por meio de interações hidrofóbicas e pontes de hidrogênio, alterando a forma como o N é metabolizado no rúmen. Isso reduz a degradação de amônia no rúmen e, conseqüentemente, a excreção de ureia na urina (NAUMANN *et al.*, 2017). Wilson *et al.* (2020) observou que a inclusão de TC na dieta reduziu de 15-50% a excreção de N na urina.

Além disso, a excreção de N foi relativamente menor na urina que nas fezes, devido a baixa disponibilidade de PB na dieta (KIRWAN *et al.*, 2021; VAN SOEST, 2018). Os valores mensurados de consumo de PB (406 g/dia) não atingiram a exigência mínima de consumo de PB de 529 g/dia para bovinos em condições de pastejo para o GMD médio obtido no experimento, conforme descrito por Benedeti *et al.* (2023). Em um estudo realizado por Hogan (1967) foi demonstrado que os animais suplementados com menor concentração de PB na dieta apresentaram maior reciclagem de N, e conseqüentemente menor excreção de ureia na urina.

A inclusão de leguminosas na produção de bovinos a pasto descreve uma estratégia robusta para a produção pecuária, sem causar perda no desempenho animal. Além disso, contribui com a redução das emissões de CH₄ e a eficiência do uso de nitrogênio (BODDEY *et al.*, 2020; HOMEM *et al.*, 2021c; HOMEM *et al.*, 2024). Os resultados deste estudo sugerem que a introdução de desmódio em pastagens de capim-marandu contribuem para a pecuária de baixo carbono e melhora a eficiência de uso do N. Além dessas questões, a

inclusão de leguminosas na pastagem pode trazer benefícios rentáveis à produção, uma vez que a sua utilização substitui a fertilizante nitrogenado sintético (BODDEY *et al.*, 2020).

No entanto, a adoção dessas práticas pelos produtores rurais é desafiadora, pois a implementação desses sistemas exige conhecimento técnico, planejamento e adaptação das propriedades e produtores. As climáticas atuais, marcadas com elevadas temperaturas, alteração no regime de chuvas e, conseqüentemente, desastres naturais, reforça a necessidade de adaptação dos setores quanto a resiliência climática, inclusive o agropecuário. Diante dessas condições, políticas públicas e programas de incentivo a produção sustentável são essenciais para a inclusão desses modelos na produção de ruminantes à pasto. Devido à busca por produtos de origem animal com menor impacto ambiental, como é o caso da certificação para a carne baixo carbono, a inclusão de práticas sustentáveis de produção requer esforços conjuntos entre produtores, pesquisadores, gestores de políticas públicas, indústrias e consumidores.

6 CONCLUSÃO

A introdução de desmódio em pastagens de gramínea demonstrou ser uma estratégia eficiente para a mitigação de metano entérico. Embora não demonstrou alteração no desempenho animal, a presença de desmódio em pastagens consorciadas reduziu em 25% as emissões de metano entérico em comparação as pastagens de gramíneas em monocultura. Dessa forma, a adoção de sistemas consorciados demonstra potencial para a produção de carne de baixo carbono.

REFERÊNCIAS

- ABIEC, perfil da pecuária no Brasil. Beef Report. Capítulo 2 e 3. 2024 <https://www.abiec.com.br/publicacoes/beef-report-2024-perfil-da-pecuaria-no-brasil/>. Acesso em: 06 de fevereiro de 2025
- Aboagye, I. A and BEauchemin K. A. potential of molecular weight and struture of tannins to reduce mathane emissions from ruminants: a review. *Animals*. 2019
- AKAIKE, H. A new look at the statistical model identification. *IEEE transactions on automatic control*, V. 19, n. 6, p. 716-197.
- Allen, V. G et al. A international terminology for grazing lands and grazing animals. *Grass and forrage Science*. 2011
- Arnold, S. L., & Schepers, J. S. A simple roller-mill grinding procedure for plant and soil samples. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 35, 537–545, 2004.
- AOAC. Association of Official Analytical Chemists. Official methods of analysis.of AOAC International. 20 ed. Editor: Dr. George W. Latimer, Jr. Rockville, MD, USA, 2016.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. Official methods of analysis. 14th ed. Arlington: AOAC International, 1984.
- BAtista, C. de S. et al. Características estruturais e produtividade ao longo das estações climáticas, fertilizaddas com adubação química. *Agri-Environmental Science*. V.9, n.1, p.1-11, 2023.
- BENEDETI, P.D.B., PRADOS, L.F., COSTA E SILVA, L.F., LOPES, S.A., VALADARES FILHO, S.C. Planilha para cálculo das exigências nutricionais de bovinos em crescimento e terminação (BR-Corte 2010 e BR-Corte 2016). 2016. Disponível em www.brcorte.com.br. Acesso em...
- BODDEY, R. M. et al. Nitrogen cycling in Brachiaria pastures: the key to understanding the process of pasture decline. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 103, n. 2, p. 389-403, 2004.
- BODDEY, Robert M. et al. Forage legumes in grass pastures in tropical Brazil and likely impacts on greenhouse gas emissions: A review. *Grass and Forage Science*, v. 75, n. 4, p. 357–371, 2020.
- BORGHI, E., NETO, M. M. G., RESENDE, R. M. S., ZIMMER, A. H., DE ALMEIDA, R. G., & MACEDO, M. C. M. Recuperação de pastagens degradadas. In: Nobre, M.M. & Oliveira, I.R. (Eds.), *Agricultura de Baixo Carbono Tecnologias e Estratégias de Implantação*. Embrapa Milho e Sorgo, Brasília-DF, p. 105-138, 2018.

CARDOSO, Silva et al. Impact of Grazing Intensity and Seasons on Greenhouse Gas Emissions in Tropical Grassland. n. December 2016, p. 845–859, 2017.

CASALI, A. O., Detmann, E., Valadares Filho, S. D. C., Pereira, J. C., Cunha, M. D., Detmann, K. D. S. C., & Paulino, M. F. (2009). Estimação de teores de componentes fibrosos em alimentos para ruminantes em sacos de diferentes tecidos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38, 130-138.

CHEN, Hongyang et al. Differences in the temperature dependence of wetland CO₂ and CH₄ emissions vary with water table depth. *Nature Climate Change*, v. 11, n. 9, p. 766–771, 2021.

Chen, X. B., & Gomes, M. J. Estimation of microbial protein supply to sheep and cattle based on urinary excretion of purine derivatives—An overview of the technical details. Rowett Research Institute/International Feed Research Unit. 1992.

Claessen, M. E.; Barreto, W. O.; Paula J. L. e Duarte, M. N., manual de análises de solo: centro nacional de pesquisas de solos. 1997

COCCO, E. et al. How shallow water table conditions affect N₂O emissions and associated microbial abundances under different nitrogen fertilisations. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 261, n. April, p. 1–11, 2018.

CONGIO, Guilherme Francklin de Souza et al. Enteric methane mitigation strategies for ruminant livestock systems in the Latin America and Caribbean region: A meta-analysis. *Journal of Cleaner Production*, v. 312, 2021.

CORSI, M.; MARTHA JÚNIOR, G. B. Manutenção da fertilidade do solo em sistemas intensivos de pastejo rotacionado. In: SIMPÓSIO SOBRE O MANEJO DA PASTAGEM, 14., 1997, Piracicaba. Anais... Piracicaba: FEALQ, 1997. p. 161-192

COTTLE, D. J.; NOLAN, J. V.; WIEDEMANN, S. G. Ruminant enteric methane mitigation: A review. *Animal Production Science*, v. 51, n. 6, p. 491–514, 2011.

DA SILVA, Hiran Marcelo Siqueira et al. Signal grass litter decomposition rate increases with inclusion of calopo. *Crop Science*, v. 52, n. 3, p. 1416–1423, 2012.

Da silva, S. C., et al. Grazing behaviour, herbage intake and animal performance of beef cattle heifers on marandu palisade grass subjected to intensities of continuous stocking management. *Journal of Agricultural Science*. 2013

DONADIA, Andrea Beltrani et al. Factors Affecting Enteric Emission Methane and Predictive Models for Dairy Cows. *Animals*, v. 13, n. 11, 2023.

DUMONT, Bertrand et al. Effect of cattle grazing a species-rich mountain pasture under different stocking rates on the dynamics of diet selection and sward structure. *Animal*, v. 1, n. 7, p. 1042-1052, 2007.

FAGUNDES, G. M. et al. Tannin-rich plants as natural manipulators of rumen fermentation in the livestock industry. *Molecules*, v. 25, n. 12, 2020.

FURTADO, A. J. et al. Pigeon Pea Intercropped with Tropical Pasture as a Mitigation Strategy for Enteric Methane Emissions of Nellore Steers. *animals*, v. 13, p. 1–20, 2023.

GOMES, F. K et al. Carbohydrates and protein digestive traits in beef cattle grazing fertilised or mixed tropical pasture. *Archives of Animals Nutrition*. 2024

GUSTAVSSON, Leif et Al. Commentoon "climate mitigation forest - temporal trade- offs'. *Environmental Research Letters*, v. 17, n. 4, p.048001, 2022.

Homem, B. G. C, et al. Forage peanut legume as a strategy for improving beef profuction without increasing livestock greenhouse gas emissions. *Animal*. 2024.

HOMEM, Bruno G.C.; DE LIMA, Italo Braz G.; SPASIANI, Paola P.; BORGES, Lucas P.C.; et al. Palisadegrass pastures with or without nitrogen or mixed with forage peanut grazed to a similar target canopy height. 2. Effects on animal performance, forage intake and digestion, and nitrogen metabolism. *Grass and Forage Science*, v. 76, n. 3, p. 413–426, 2021.b

HOMEM, Bruno G.C.; DE LIMA, Italo Braz G.; SPASIANI, Paola P.; GUIMARÃES, Bianca C.; et al. N-fertiliser application or legume integration enhances N cycling in tropical pastures. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v. 121, n. 2–3, p. 167–190, 2021.c

HUHTANEN, P.; KAUSTELL, K.; JAAKKOLA, S. The use of internal markes to predict total digestibility and duodenal flow of nutrients in cattle given six different diets. *Animal Feed Science and Technology*, v. 48, p. 211 - 227, 1994.

HUWS, Sharon A. et al. Addressing global ruminant agricultural challenges through understanding the rumen microbiome: past, present, and future. *Frontiers in microbiology*, v. 9, p. 2161, 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). rebanhos e valor dos principais produtos de origem animal foram recordes em 2022. Agência IBGE Notícias, 2022. disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/37937-rebanhos-e-valor-dos-principais-produto-de-origem-animal-foram-recordes-em-2022>. Acesso em: 01 mar. 2024.

IPCC, 2023: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 1-34, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001

JOHNSON, A.D. Sample preparation and chemical analysis of vegetation. In: t MANNETJE, L. (Ed.). *Measurement of grassland vegetation and animal production*. Aberystwyth: Commonwealth Agricultural Bureaux, p.96-102, 1978.

Johnson, Kristen et al. Measurement of methane emissions from ruminant livestock using a sulfur hexafluoride tracer technique. *Environmental science & technology*, v. 28, n. 2, p. 359-362, 1995.

Jones, R. J e Sandland, R. L., The relation between animal gain and stocking rate: derivation of the relation from the results of grazing trials. *The journal of Agricultural Science*. 1974

KIRWAN, Stuart F. et al. Effect of chitosan inclusion and dietary crude protein level on nutrient intake and digestibility, ruminal fermentation, and N excretion in beef heifers offered a grass silage based diet. *Animals*, v. 11, n. 3, p. 771, 2021.

KOUSHKI, Raana et al. Life cycle greenhouse gas emissions for irrigated corn production in the U.S. great plains. *Environmental Challenges*, v. 13, n. July, p. 100750, 2023.

LEE, Seul et al. Effect of Fermented Concentrate on Ruminal Fermentation, Ruminal and Fecal Microbiome, and Growth Performance of Beef Cattle. *Animals*, v. 13, n. 23, p. 3622, 2023.

LITTELL, R. C., PENDERGAST, J., & NATARAJAN, R. (2000). Modelling covariance structure in the analysis of repeated measures data. *Statistics in Medicine*, 19, 1793–1819.10.1002/1097-0258(20000715)19:13<1793:Aid-sim482>3.0.Co;2-q

MARTUSCELLO, J. A. et al. Produção e morfogênese de capim BRS Tamani sob diferentes doses de nitrogênio e intensidade de desfolha. *Boletim de Indústria Animal*, v. 76, p. 1-10, Nova Odessa, 2019.

MAYORGA, Yesenia et al. Foliage of Tropical Trees and Shrubs and Their Secondary Metabolites Modify In Vitro Ruminal Fermentation, Methane and Gas Production without a Tight Correlation with the Microbiota. *Animals*, v. 12, n. 19, 2022.

MILLEN, D. D. *Ruminologia: uma viagem ao fantástico mundo do rúmen*, Botucatu, 2023.

MINISTÈRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVÇÕES (M C T I). Relatório de avaliação de necessidade tecnológicas para implantação de planos de ação climática no Brasil: mitigação. . [S.l: s.n.], 2021.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA. Anexo - Mapas das Áreas de Pastagens Degradadas por Estado. Brasília: MAPA, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/floresta-plantada/publicacoes/anexo-mapas-areas-pastagens-degradadas-estado/view>. Acesso em: 6 fev. 2025.

MYERS, R. J. K., & ROBBINS, G. B. (1991). Sustaining productive pastures in the tropics: 5. Maintaining productive sown grass pastures. *Tropical Grasslands*, 25, 104–110.

MYERS, W.D.; LUDDEN, P.A.; NAYIGIHUGU, V. et al. Technical Note: a procedure for the preparation and quantitative analysis of samples for titanium dioxide. *Journal of Animal Science*, v.82, n.1, p.179-183, 2004.

NABUURS, G-J. et al. Chapter 7: Agriculture, Forestry and Other Land Uses (AFOLU). [S.l: s.n.], 2022.

NAUMANN, Harley D. et al. The role of condensed tannins in ruminant animal production: advances, limitations and future directions. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 46, p. 929-949, 2017.

Ng, F. et al. Na adhering from hydrogenutilizin rumen methanogn methanobrevibacter ruminantium M1 binds a bord range of hydrogen-producing microorganisms. *Environmental microbiology*. 2016.

Niyigena, V. et al. Intake, digestibility, rumen fermentation and nitrogen balance in sheep offered alfafa silage with diferente proportions of the tannin-rich legume sericea lespedeza. *Animal Feed Science and Techonology*. 2024

NOAA. Atmosphere. National Oceanic and Atmospheric Administration, 2025. Disponível em: <https://www.noaa.gov/jetstream/atmosphere>. Acesso em: 6 fev. 2025.

PALANGI, Valiollah et al. Strategies to Mitigate Enteric Methane Emissions in Ruminants: A Review. *Sustainability (Switzerland)*, v. 14, n. 20, p. 1–15, 2022.

PELL, A. N., & SCHOFIELD, P. Computerized monitoring of gas production to measure forage digestion in vitro. *Journal of Dairy Science*, 76,1063–1073.1993.

PEREIRA, José Marques et al. Production of beef cattle grazing on *Brachiaria brizantha* (Marandu grass)—*Arachis pintoi* (forage peanut cv. Belomonte) mixtures exceeded that on grass monocultures fertilized with 120 kg N/ha. *Grass and Forage Science*, v. 75, n. 1, p. 28–36, 2020.

PORTER, L. J.; HRSTICH, L. N. & CHAN, B. G. The conversion of proanthocyanidins and prodelpinidins to cyanidin and delpinidin. *Phytochem*, v. 25, p. 223, 1985.

PRIMAVESI, O. ; CORRÊA, L. de A. ; PRIMAVESI, A. C. Adubação com uréia empastagem de *Cynodon dactylon* cv. Coastcross sob manejo rotacionado: eficiência e perdas. *Circular Técnica 30*. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 42, p. 2001.

RAYBURN, E.B. Quantitative aspects of pasture management. *Seneca Trail C&D Technical Manual*. Franklinville. N.Y. Seneca Trail RC&D, 1986.

Ruelle, E., Delaby, L., Shalloo, L., O'Donovan, M., Hennessy, D., Egan, M., Horan, B., & Dillon, P. (2022). Modelling the effects of stocking rate, soil type, agroclimate location and

nitrogen input on the grass DM yield and forage self-sufficiency of Irish grass-based dairy production systems. *The Journal of Agricultural Science*, 160, 235 - 249.

SANTOS, Camila Almeida et al. Productivity of beef cattle grazing *Brachiaria brizantha* cv. Marandu with and without nitrogen fertilizer application or mixed pastures with the legume *Desmodium ovalifolium*. *Grass and Forage Science*, v. 78, n. 1, p. 147–160, 2022.

SANTOS, Djail et al. Perdas de solo e produtividade de pastagens nativas melhoradas sob diferentes práticas de manejo. *Pesquisa agropecuária brasileira*, v. 33, n. 2, p. 183-189, 1998.

Santos, H.G., Jacomine, P.K.T., Anjos, L.H.C., Oliveira, V.A., Lumbrreras, J.F., Coelho, M. R., Almeida, J.A., Araújo Filho, J.C., Oliveira, J.B., Cunha, T.J.F., 2018. *Sistema Brasileiro de Classificação de solos*, 5. ed. Brasília, DF, Embrapa.

SCHLEGEL, M. L. et al. Grazing methods and stocking rates for direct-seeded alfalfa pastures: I. Plant productivity and animal performance. *Journal of Animal Science*, v. 78, n. 8, p. 2192-2201, 2000.

SMITH, Paul E. et al. Enteric methane research and mitigation strategies for pastoral-based beef cattle production systems. *Frontiers in Veterinary Science*, v. 9, 2022.

SOLLENBERG, L.E; MOORE, J.E; ALLEN, V.G. et al. Reporting forage allowance in grazing experiments. *Crop Science Society of America*, v.45, p.896-900, 2005.

TITGEMEYER, E. C.; ARMENDARIZ, C. K.; BINDEL, D. J. Evaluation of titanium dioxide as a digestibility marker for cattle. *Journal of Animal. Science*, v.79, p.1059 - 1063, 2001.

Thomas, R.J. Role of legumes in providing N for sustainable tropical pasture systems. *Plant Soil* **174**, 103–118 (1995). <https://doi.org/10.1007/BF00032243>

TYLUTKI, T. P. et al. Cornell Net Carbohydrate and Protein System: A model for precision feeding of dairy cattle. *Animal Feed Science and Technology*, v. 143, n. 1-4, p. 174-202, 2008.

Van Soest, J. P. *Nutritional Ecology of the ruminant*. Cornell University Press. 2018.

Wilson, L. R., Milk production, nitrogen utilization, and methane emissions of dairy cows grazing grass, forb, and legume-based pastures. *Journal of Animal Science*. 2020.