

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ZOOTECNIA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS

ANNELISE AILA GOMES LOBO

**Intensidade de emissão de metano, fermentação e dinâmica ruminal de
bovinos Nelore em sistemas de pastejo intensificado e integrado nas
diferentes estações do ano**

Campus Fernando Costa

Pirassununga/SP

2023

ANNELISE AILA GOMES LOBO

Intensidade de emissão de metano, fermentação e dinâmica ruminal de bovinos Nelore em sistemas de pastejo intensificado e integrado nas diferentes estações do ano

Versão corrigida

Tese apresentada à Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Doutora em Ciências.

Área de Concentração: Qualidade e Produtividade Animal.

Orientador: Prof. Dr. Ives Cláudio da Silva Bueno.

Coorientador: Dr. Alexandre Berndt.

Campus Fernando Costa

Pirassununga/SP

2023

Ficha catalográfica elaborada pelo
Serviço de Biblioteca e Informação, FZEA/USP,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

G799i Gomes Lobo, Annelise Aila
Intensidade de emissão de metano, fermentação e
dinâmica ruminal de bovinos Nelore em sistemas de
pastejo intensificado e integrado nas diferentes
est / Annelise Aila Gomes Lobo ; orientador Ives
Cláudio da Silva Bueno ; coorientador Alexandre
Berndt. -- Pirassununga, 2023.
126 f.

Tese (Doutorado - Programa de Pós-Graduação em
Zootecnia) -- Faculdade de Zootecnia e Engenharia
de Alimentos, Universidade de São Paulo.

1. hexafluoreto de enxofre. 2. gases de efeito
estufa. 3. Nelore. 4. metabolismo ruminal. 5. YM.
I. da Silva Bueno, Ives Cláudio, orient. II.
Berndt, Alexandre, coorient. III. Título.

ANNELISE AILA GOMES LOBO

**Intensidade de emissão de metano, fermentação e dinâmica ruminal
de bovinos Nelore em sistemas de pastejo intensificado e integrado nas diferentes
estações do ano**

Tese apresentada à Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Doutora em Ciências.

Área de Concentração: Qualidade e Produtividade Animal.

Data de Aprovação: 09 de fevereiro de 2023

Banca examinadora:

Prof. Dr. Ives Cláudio da Silva Bueno

Instituição: FZEA-USP

Presidente da Banca Examinadora

Dr. Flávio Perna Júnior

Instituição: FMVZ-USP

Profa. Dra. Cláudia Batista Sampaio

Instituição: Universidade Federal de Viçosa (UFV)

Dr. Sérgio Raposo de Medeiros

Instituição: Embrapa Pecuária Sudeste

Prof. Dr. Thiago Carvalho da Silva

Instituição: Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA)

Dr. Thiago Henrique da Silva

Instituição: Instituto de Zootecnia (IZ- Sertãozinho/SP)

DEDICATÓRIA

À minha mãe ANDREA pelas incansáveis batalhas e conquistas para fazer com que eu chegasse até aqui e além; aos meus avós NIRMA e JOÃO pela educação, ao meu irmão ARTHUR pelo exemplo de persistência, aos meus tios AURELIO E ELDA, PAULO GOMES e ANDRÉIA; e CHARLES E VALÉRIA e aos meus primos ANNALISSA e ARMANDO pela inspiração.

AGRADECIMENTOS

Ao grandioso Deus e à incansável fé que me guia todos os dias.

Ao Dr. Alexandre Berndt pela convivência e por compartilhar seu conhecimento, contribuindo desta forma para meu crescimento científico e intelectual.

Aos Profs. Drs. Ives Bueno e Paulo Mazza, pela orientação e oportunidade.

Aos meus companheiros da “lida diária” e troca de conhecimentos Gabriele, Neto e Custódio.

À Ana Laura Lelis pelo apoio científico e sentimental durante todo o tempo desde a condução do experimento até a escrita da tese e artigos.

Ao Flávio Perna pelo auxílio nas análises laboratoriais, troca de conhecimento e paciência em explicar com zelo todas as dúvidas durante a condução do experimento e escrita de tese.

Aos pesquisadores, funcionários e estagiários da EMBRAPA Pecuária Sudeste, em especial Lucas e Willian pelo empenho a campo e no laboratório.

Às minhas amigas da vida inteira, Andrea, Luiza, Raissa e Sarah por acolher todas as minhas aclamações.

Aos meus queridos amigos de Minas Gerais, onde eu nasci, cresci e sempre encontrei minha paz, Tia Zô, Otávio, Fred, André, Abil, Diego Qui, Paulinho Jibóia, Braulio, Ana Luiza.

Aos meus primos, tias e tios que, através de orações sempre torceram por mim.

Aos queridos amigos de São Carlos Lucas e Rafa, os quais me apoiaram e me deram em todo o tempo que me residi nesta cidade e aos amigos que Pirassununga e a FZEA me deram Robson, Uesley, Jullia, Destak, Remédio, Ju, Taiane.

À Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, pela oportunidade de realização do curso de doutorado.

A todos que contribuíram para meu desenvolvimento científico-profissional.

“O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001”.

Muito Obrigada!

EPÍGRAFE

*“Sua tarefa é descobrir o seu trabalho e,
então, com todo o coração, dedicar-se a ele.”*

Sidarta Gautama, Buda.

RESUMO

LOBO, A. A. G. **Intensidade de emissão de metano, fermentação e dinâmica ruminal de bovinos Nelore em sistemas de pastejo intensificado e integrado nas diferentes estações do ano 2023**. 126f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2022.

O metano (CH₄) é o segundo gás de efeito estufa (GEE) mais abundante, enquanto que o CO₂ está fortemente associado à evolução de longo prazo da temperatura média global, o CH₄ interfere no aquecimento do planeta no instante em que é emitido, portanto seu papel é determinante na dinâmica da evolução de curto prazo do aumento de temperatura. O objetivo principal deste estudo é investigar os efeitos da intensificação dos sistemas de produção animal, incluindo a integração dos mesmos, nos índices de eficiência de emissão de CH₄ entérico. Um total de 40 animais experimentais por ano, da raça Nelore (*Bos taurus indicus*) com 375±30 kg de peso vivo e 15 a 16 meses de idade foram utilizados, sendo quatro animais em cada tratamento por ano: um animal fistulado para coleta de dados de fermentação ruminal, um animal para avaliação de desempenho e dois animais para medições de produção de metano entérico (SF₆ - hexafluoreto de enxofre – técnica do gás traçador), distribuídos em cinco tratamentos com duas repetições cada, havendo em cada tratamento por ano, quatro animais chamados *testers*. Os tratamentos foram compostos por cinco diferentes sistemas de pastejo e suas réplicas, como a seguir: 1) pastagens degradadas (DP); 2) pastagens de sequeiro com densidade animal moderada (DMS); 3) pastagens de sequeiro com alta taxa de lotação animal (DHS); 4) sistema de pecuária florestal com taxa de lotação animal moderada (LF); e 5) pastagem irrigada com alta taxa de lotação animal (IHS). As unidades de pastejo foram consideradas unidades experimentais para os dados obtidos por área, e animais unidades experimentais para os dados obtidos por animal. O modelo inclui o efeito do tratamento (cinco sistemas de pastejo), estações do ano (primavera, verão, outono e inverno) e a interação entre tratamento e estações do ano como efeito fixo e ano foi considerado efeito aleatório. Dentro da presença de interação, os efeitos de um fator dentro do outro foram avaliados usando o comando SLICE de Procedimento Misto. Todas as médias foram apresentadas como médias de mínimos quadrados e os efeitos dos tratamentos foram separados pela opção PDIFF do SAS. Os efeitos foram considerados significativos em $P \leq 0,05$ pelo teste LSD de Fisher. Enfatiza-se que sistemas de produção a pasto, com animais da raça Nelore criados no pasto ao longo de todo o período de sua vida produtiva, sendo este intensificado com adubação e correção do solo, lotação animal média a alta, com a estocagem animal

controlada e durante o verão, onde há a maior produção e disponibilidade de forragem, como os sistemas DMS e IHS, possuem baixa emissão de metano quando este é expresso em variáveis de produção como ganho de peso e taxa de lotação: DMS ($579,16 \text{ gCH}_4/\text{kg.dia}^{-1}$ e $75,17 \text{ gCH}_4/\text{UA.ha.dia}^{-1}$) e IHS ($365 \text{ gCH}_4/\text{kg.dia}^{-1}$ e $65,62 \text{ gCH}_4/\text{UA.ha.dia}^{-1}$), em analogia aos dados encontrados na literatura. Em relação a energia bruta perdida na forma de metano, no sistema DMS foi menor durante o verão ($\text{YM} = 2,91\%$), posto que seu consumo ($9,92 \text{ kg}$) durante o verão foi alto juntamente com os sistemas de alta lotação animal, tornando assim um sistema eficiente. Em adição, sistemas como o DMS, para solos de baixa fertilidade, tem a capacidade de mitigar 145 vezes mais em relação ao sistema integrado como o LF ou até 25 vezes como o DP, uma vez que o sistema LF não recebeu trato de desbaste das árvores ao longo do ano. Porém quando há interação entre estação e sistema, algumas variáveis como $\text{CH}_4\text{-FDN}$, $\text{CH}_4\text{-HA-ANO}$, YM são maiores durante o inverno no IHS e menores durante a primavera, no LF. Durante a primavera, variáveis como $\text{CH}_4\text{-GMD}$, $\text{CH}_4\text{-MSD}$, $\text{CH}_4\text{-CMS}$, $\text{CH}_4\text{-FDN}$ e $\text{CH}_4\text{-HA-ANO}$ obtiveram os menores resultados. Todavia, os sistemas integrados são necessários para manter a ciclagem de nutrientes, a biodiversidade do sistema e o equilíbrio animal, planta e ambiente. Em adição, A modulação da fermentação ruminal através do maior CMS, ganho de peso, eficiência na taxa de passagem do alimento pelo TGI e consequente redução da perda de energia, propiciados pelo manejo correto das pastagens respeitando as práticas para cada estação do ano, garante a qualidade destas, juntamente com a correta adubação e a taxa de lotação animal adequada, tendo a capacidade de melhorar a eficiência da emissão de gases de efeito estufa.

Palavras-chave: hexafluoreto de enxofre, gases de efeito estufa, Nelore, metabolismo ruminal, pastagem, YM.

ABSTRACT

LOBO, A. A. G. **Methane emission intensity, fermentation and rumen dynamics from Nelore cattle on intensified and integrated grazing systems during different seasons** 2023. 126f. PhD Thesis – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2022.

Methane (CH₄) is the second most abundant greenhouse gas (GHG), while CO₂ is strongly associated with the long-term evolution of global average temperature, CH₄ interferes in the warming of the planet at the instant it is emitted, therefore its role is determinant in the dynamics of the short-term evolution of temperature increase. The main objective of this study is to investigate the effects of intensification of livestock production systems, including their integration, on enteric CH₄ emission efficiency indices. A total of 40 experimental animals per year, of the Nelore breed (*Bos taurus indicus*) with 375±30 kg live weight and 15 to 16 months of age were used, being four animals in each treatment per year: one fistulated animal for rumen fermentation data collection, one animal for performance evaluation and two animals for enteric methane production measurements (SF₆ - sulfur hexafluoride - tracer gas technique), distributed in five treatments with two repetitions each, having in each treatment per year, four animals called testers. . The treatments were composed of five different grazing systems and their replicates, as follows: 1) degraded pasture (DP); 2) dryland pasture with moderate animal density (DMS); 3) dryland pasture with high animal stocking rate (DHS); 4) forest livestock system with moderate animal stocking rate (LF); and 5) irrigated pasture with high animal stocking rate (IHS). Grazing units were considered experimental units for data obtained per area, and animals' experimental units for data obtained per animal. The model includes the effect of treatment (five grazing systems), seasons (spring, summer, fall, and winter), and the interaction between treatment and seasons as a fixed effect, and year was considered a random effect. Within the presence of interaction, the effects of one factor within the other were evaluated using the SLICE Mixed Procedure command. All means were presented as least squares means and the effects of treatments were separated by the PDIFF option of SAS. Effects were considered significant at P ≤ 0.05 by Fisher's LSD test. It is emphasized that pasture production systems, with Nelore animals raised on pasture throughout the entire period of their productive life, intensified with fertilization and soil correction, medium to high stocking rate, with controlled animal stocking during the summer, when there is greater production and availability of forage, such as the DMS and IHS systems, have low methane emission when expressed in production variables such as weight gain

and stocking rate: DMS ($579.16 \text{ gCH}_4/\text{kg. day}^{-1}$ and $75.17\text{gCH}_4/\text{UA.ha.day}^{-1}$) and IHS ($365\text{gCH}_4/\text{kg.day}^{-1}$ and $65.62\text{gCH}_4/\text{UA.ha.day}^{-1}$), in analogy to data found in the literature. Regarding the gross energy lost in the form of methane, in the DMS system it was lower during the summer ($\text{YM} = 2.91\%$), since its consumption (9.92 kg) during the summer was high along with the high stocking rate systems, thus making it an efficient system. In addition, systems such as DMS, for low fertility soils, have the ability to mitigate 145 times more than the integrated system such as LF or up to 25 times as DP, since the LF system did not receive treatment of thinning trees throughout the year. However, when there is interaction between season and system, some variables such as $\text{CH}_4\text{_FDN}$, $\text{CH}_4\text{_HA_ANO}$, YM are higher during winter in IHS and lower during spring in LF. During spring, variables such as $\text{CH}_4\text{_GMD}$, $\text{CH}_4\text{_MSD}$, $\text{CH}_4\text{_CMS}$, $\text{CH}_4\text{_FDN}$ and $\text{CH}_4\text{_HA_ANO}$ obtained the lowest results. However, integrated systems are necessary to maintain nutrient cycling, system biodiversity, and animal, plant, and environmental balance. In addition, the modulation of rumen fermentation through the higher CMS, weight gain, efficiency in the rate of food passage through the gastrointestinal tract and consequent reduction of energy loss, provided by proper management of pastures respecting the practices for each season of the year, ensures the quality of these, along with correct fertilization and adequate stocking rate, and has the ability to improve the efficiency of greenhouse gas emissions.

Keywords: greenhouse gases, Nellore, pasture, ruminal metabolism, sulfur hexafluoride, YM.

LISTA DE EQUAÇÕES

| | |
|------------------|----|
| Equação 1 | 25 |
| Equação 2 | 26 |
| Equação 3 | 27 |
| Equação 4 | 27 |
| Equação 5 | 27 |
| Equação 6 | 34 |
| Equação 7 | 35 |
| Equação 8 | 36 |
| Equação 9 | 36 |
| Equação 10 | 38 |
| Equação 11 | 40 |
| Equação 12 | 40 |
| Equação 13 | 41 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 – Variação de temperaturas e volume de chuvas ao longo de dois anos experimentais (2019-2021)..... | 18 |
| Figura 2– Balanço hídrico ao longo de dois anos experimentais (2019-2021) | 18 |
| Figura 3 – Foto de satélite da área experimental evidenciando os tratamentos correspondentes: C e D= IHS; E e F= DHS; G e H= DMS; I e J= DP; e K, L e L2= LF . | 22 |
| Figura 4 – Animais em pastejo | 29 |
| Figura 5- Etapas da coleta à análise de metano através da técnica do gás traçador SF ₆ ... | 32 |
| Figura 6 - Técnica ex-situ..... | 34 |
| Figura 7 - Partição de energia do alimento em ruminantes conforme proposta do sistema de energia líquida..... | 39 |
| Figura 8 - Degradação de uma dieta rica em volumoso expressa pela fórmula $P = a + b(1 - e^{-ct})$. Devido ao lag-time (L), a é negativo. A é a fração solúvel, B a fração insolúvel, mas potencialmente fermentescível ($B = (a + b) - A$) e c a taxa constante de d..... | 43 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|---|----|
| Gráfico 1 - Interação entre tratamento e estação: massa ruminal líquida, em porcentagem do peso vivo, do conteúdo ruminal de animais fistulados | 47 |
| Gráfico 2 - Interação entre tratamento e estação: massa ruminal sólida, em porcentagem do peso vivo, do conteúdo ruminal de animais fistulados | 48 |
| Gráfico 3 - Interação entre tratamento e estação: massa ruminal total, em porcentagem do peso vivo, do conteúdo ruminal de animais fistulados | 48 |
| Gráfico 4 - Interação entre tratamento e estação: massa ruminal total, em kg, do conteúdo ruminal de animais fistulados | 49 |
| Gráfico 5 - Interação entre tratamento e estação: matéria seca do conteúdo ruminal, em kg, do conteúdo ruminal de animais fistulados | 49 |
| Gráfico 6 - Interação entre tratamento e estação: consumo de matéria seca, em kg, do conteúdo ruminal de animais fistulados | 50 |
| Gráfico 7 - Interação entre tratamento e estação: peso vivo médio dos animais, em kg | 51 |
| Gráfico 8 - Interação entre tratamento e estação: variável nitrogênio amoniacal, em mg/dL relacionado à fermentação ruminal em seu tempo inicial 0 | 56 |
| Gráfico 9 - Comportamento do pH ruminal médio de bovinos Nelore fistulados para os diferentes tratamentos durante dois anos experimentais (2019-2021) | 58 |
| Gráfico 10 - pH no tempo, em minutos/dia, de bovinos Nelore fistulados durante dois anos experimentais (2019-2021)..... | 58 |
| Gráfico 11 - Interação entre tratamento e estação: variável emissão de metano, em g/dia, por | 70 |
| Gráfico 12 - Interação entre tratamento e estação: variável emissão de metano, em kg/ano, por animal em seus tratamentos nas diferentes estações do ano..... | 71 |
| Gráfico 13 - Interação entre tratamento e estação: variável emissão de metano, em g de CH ⁴ /% de FDN, por animal em seus tratamentos nas diferentes estações do ano..... | 72 |
| Gráfico 14 - Interação entre tratamento e estação: variável emissão de metano, em kg de CH ⁴ /ano/hectare, por animal em seus tratamentos nas diferentes estações do ano | 73 |
| Gráfico 15 - Interação entre tratamento e estação: variável emissão de metano, em g de CH ⁴ /% de matéria seca digestível, por animal em seus tratamentos nas diferentes estações do ano ... | 74 |

| | |
|---|----|
| Gráfico 16 - Interação entre tratamento e estação: variável emissão de metano, em g de CH ⁴ /consumo de matéria seca, por animal em seus tratamentos nas diferentes estações do ano | 75 |
| Gráfico 17 - Interação entre tratamento e estação: variável energia bruta ingerida, em Mcal/dia, por animal em seus tratamentos nas diferentes estações do ano | 76 |
| Gráfico 18 - Interação entre tratamento e estação: variável energia bruta perdida na forma de | 77 |
| Gráfico 19 - Interação entre tratamento e estação: variável emissão de CH ⁴ /unidade animal hectare ano, em kg/UA.ha.ano ⁻¹ , por animal em seus tratamentos nas diferentes estações do ano | 78 |
| Gráfico 20 - Interação entre tratamento e estação: variável emissão de CH ₄ /hectare, em g/ha.dia ⁻¹ , por animal em seus tratamentos nas diferentes estações do ano | 79 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Composição bromatológica da qualidade das forragens por pastejo simulado e consumo de suplemento proteico-energético nos diferentes sistemas de produção avaliados durante dois anos experimentais (2019-2021)..... | 23 |
| Tabela 2 - Ingredientes e composição bromatológica do suplemento mineral proteico-energético..... | 24 |
| Tabela 3 - Cinética Ruminal: dinâmica ruminal avaliada pelo esvaziamento total do rúmen de animais fistulados durante dois anos experimentais (2019-2021)..... | 46 |
| Tabela 4 - Produção de ácidos graxos de cadeia curta e metano obtidos através do conteúdo ruminal em diferentes épocas do ano durante dois anos experimentais (2019-2021).... | 52 |
| Tabela 4.1 - Produção de ácidos graxos de cadeia curta e metano obtidos através do conteúdo ruminal em diferentes épocas do ano durante dois anos experimentais (2019-2021)..... | 53 |
| Tabela 5 - Concentração de nitrogênio amoniacal relacionado à fermentação ruminal em diferentes épocas do ano durante dois anos de coleta de dados (2019-2021) | 55 |
| Tabela 6 - Variáveis relacionadas ao pH ruminal em diferentes épocas do ano durante dois anos consecutivos de coleta de dados (2019-2021)..... | 57 |
| Tabela 7 - Contagem numérica de protozoários ruminais de animais fistulados durante dois anos experimentais (2019-2021) | 60 |
| Tabela 8 - Cinética ruminal: degradabilidade ruminal <i>in situ</i> da matéria seca em diferentes épocas do ano durante dois anos de coleta de dados (2019-2021) | 62 |
| Tabela 8.1 - Cinética ruminal: degradabilidade ruminal <i>in situ</i> da matéria seca em diferentes épocas do ano durante dois anos de coleta de dados (2019-2021) | 63 |
| Tabela 8.2 - Cinética ruminal: degradabilidade ruminal <i>in situ</i> da matéria seca em diferentes épocas do ano durante dois anos de coleta de dados (2019-2021) | 64 |
| Tabela 9 - Estimativa da energia liberada no trato gastrintestinal de animais Nelore fistulados durante dois anos experimentais (2019-2021) | 67 |
| Tabela 10 - Emissão de metano entérico (g/dia) e sua relação com diferentes variáveis durante dois anos de coleta de dados (2019-2021)..... | 69 |

LISTA DE ABREVIACOES E SIGLAS

| | |
|-------------------|---|
| AGCC | Ácido Graxo de Cadeia Curta |
| C | Carbono |
| CFCs | Clorofluorcarboneto |
| CG | Cromatografia Gasosa |
| CH ₄ | Metano |
| CO ₂ | Dióxido de Carbono |
| DHS | Sistema Sequeiro com Alta Taxa de Lotação |
| DMS | Sistema Sequeiro com Moderada Taxa de Lotação |
| DP | Sistema Degradado |
| Eq | Equação |
| GEE | Gases de Efeito Estufa |
| GTP | <i>Global Temperature Change Potential</i> |
| GWP | <i>Global Warming Potencial</i> |
| H ₂ | Hidrogênio |
| Ha | Hectare |
| HFCs | Hidrofluorcarbonetos |
| IHS | Sistema Irrigado com Alta Taxa de Lotação |
| IMS | Ingestão de Matéria Seca |
| LF | Sistema Silvipastoril |
| Mt | Megatoneladas |
| N | Nitrogênio |
| N-NH ₃ | Nitrogênio Amoniacal |
| N ₂ O | Óxido Nitroso |
| PAG | Potencial de Aquecimento Global |
| Ppt | Partes por trilhão |
| SF ₆ | Hexafluoreto de Enxofre |
| TiO ₂ | Dióxido de Titânio |
| UA | Unidade animal (equivale a 450 kg) |
| YM | <i>Methane Yield</i> |

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1. Introdução | 1 |
| 2. Hipóteses | 2 |
| 3. Objetivos | 3 |
| 3.1. Objetivo geral..... | 3 |
| 3.2. Objetivos específicos..... | 3 |
| 4. Referencial Teórico | 4 |
| 4.1. Cenário econômico do mercado da carne..... | 4 |
| 4.2. Sistemas de produção a pasto..... | 4 |
| 4.3. Transferência de tecnologia em cultivares tropicais (gêneros <i>Urochloa</i> e <i>Megathyrus</i>) e temperadas (<i>Avena byzantina</i> e <i>Lolium multiflorum</i>)..... | 6 |
| 4.4. Panorama geral da emissão dos gases de efeito estufa..... | 7 |
| 4.5. Estratégias para mitigação de metano | 11 |
| 4.5.1. Estratégias de pastejo e práticas de manejo para mitigar as emissões de CH ₄ ruminal | 11 |
| 4.5.2. Suplementos dietéticos usados para mitigar as emissões de CH ₄ ruminal..... | 13 |
| 4.5.3. Metanogênese ruminal | 15 |
| 4.5.4. Fermentação e cinética ruminal | 16 |
| 5. Material e Métodos | 17 |
| 5.1. Localização, características edafoclimáticas, questões éticas e animais..... | 17 |
| 5.2. Período experimental e coletas de amostras..... | 19 |
| 5.3. Delineamento experimental, sistemas de pastejo e tratamentos | 20 |
| 5.4. Composição nutricional da dieta, manejo e sistema alimentar | 22 |
| 5.5. Desempenho animal | 26 |
| 5.6. Simulação de pastejo (“hand-plucking”)..... | 28 |
| 5.7. Mensuração de metano entérico: técnica do gás traçador SF ₆ | 29 |
| 5.8. Cromatografia gasosa..... | 30 |

| | |
|--|-----------|
| 5.9. Variáveis relacionadas à emissão de metano entérico | 31 |
| 5.10. Fermentação Ruminal | 32 |
| 5.10.1. <i>Produtos finais da fermentação microbiana dos carboidratos no rúmen</i> | 32 |
| 5.10.2. <i>Mensuração contínua do pH ruminal</i> | 36 |
| 5.10.3. <i>Caracterização microbiana do ecossistema ruminal</i> | 37 |
| 5.11. Partição de energia | 38 |
| 5.12. Cinética ruminal | 39 |
| 5.12.1. <i>Dinâmica ruminal</i> | 39 |
| 5.12.2. <i>Degradabilidade Ruminal in situ</i> | 40 |
| 6. Análise estatística | 43 |
| 7. Resultados | 45 |
| 8. Discussão | 79 |
| 9. Conclusão | 84 |
| 10. Considerações Finais | 84 |
| 11. Agradecimentos | 85 |
| 12. Referências bibliográficas | 85 |
| APÊNDICE A | 107 |
| APÊNDICE B | 108 |
| APÊNDICE C | 111 |
| APÊNDICE D | 123 |
| APÊNDICE E..... | 126 |

1. Introdução

O metano (CH_4) é o segundo gás de efeito estufa (GEE) mais abundante, seguido do dióxido de carbono (CO_2) e responsável por 17,6% das emissões globais, sendo o CO_2 responsável por 74,4%, 6,2% de óxido nitroso (N_2O) e 2,1% de gases fluorados como HFCs, CFCs e SF_6 (IPCC, 2014). As emissões de GEE do Brasil representam 3% do total global e 566 Mt CO_2 -equivalente (26%) é representado pelo metano (CH_4) (SEEG, 2020). Enquanto o CO_2 está fortemente associado à evolução de longo prazo da temperatura média global, o CH_4 interfere no aquecimento do planeta no instante em que é emitido, portanto seu papel é determinante na dinâmica da evolução de curto prazo do aumento de temperatura. (FGV, 2022).

Atualmente, existem preocupações relacionadas às consequências potenciais associadas ao crescimento do setor pecuário, incluindo o aumento do uso e degradação dos recursos naturais, a contribuição ao aquecimento global, através da emissão de gases de efeito estufa, o esgotamento dos recursos hídricos, a erosão do solo e a alteração do habitat natural (FAO, 2019). Este crescimento vem contribuindo significativamente para as emissões de CH_4 entérico em todo o mundo (SAUNOIS et al., 2016). Com até 90% da produção de CH_4 ocorrendo no rúmen (MURRAY et al., 1976), estima-se a produção de CH_4 entre 250 e 500 L por dia e cerca de 6% a 12% da sua energia ingerida é eructada na forma de CH_4 (JOHNSON e JOHNSON, 1995).

As emissões de CH_4 podem ser mais comumente expressas em termos de produção por unidade animal ou de produção por energia bruta consumida pelo animal (SAKAMOTO, 2020). A produção de carne no Brasil é predominantemente baseada em pastagens e o tempo para o abate é longo, o que promove altas emissões de metano CH_4 por kg de produto (CARDOSO, 2016), logo, a emissão provém majoritariamente do setor da agropecuária, principalmente da fermentação entérica do rebanho bovino (FGV, 2022).

Para reduzir o impacto ambiental sobre as florestas, é essencial que os pecuaristas disponham de opções sustentáveis como intensificação do crescimento das pastagens e da produção pecuária (MAZZETO et al., 2015), além da manipulação da fermentação entérica (USEPA, 2022), e, uma outra forma de reduzir as emissões dos GEE é através do aumento dos teores de carbono (C) no solo (BERNARDI et al., 2020) e C fixado nas

árvores (PEZZOPANE et al., 2021), em arranjos de sistemas integrados de produção agropecuária com árvores. Esses sistemas integrados têm a capacidade de neutralizar a emissão de metano entérico pelos animais somada a de óxido nitroso (N₂O) e dióxido de carbono (CO₂) pelo solo, ou mesmo tornar o balanço de carbono positivo no agroecossistema (OLIVEIRA et al., 2020). Ademais, o componente arbóreo pode abrigar e alimentar polinizadores e dispersores (ZUCHIWSCHI et al., 2010), auxiliando na conservação da vegetação nativa (SILVA, 2022).

Os sistemas de produção podem ser projetados através da implementação da diversidade alimentar funcional para ter menos impactos ambientais, aumentar a eficiência da produção e do uso de nutrientes, além de produzir de uma forma mais sustentável, utilizando o manejo de pastagens reduzindo o impacto ambiental (BECK e GREGORINI, 2021).

Tipos de sistemas de pastejo como irrigados e alta taxa de lotação podem possuir menor emissão pelos animais devido ao menor tempo de vida e maior ganho de peso diário (SAKAMOTO, 2020), tais como sistemas integrados como é o caso de sistema silvipastoril o qual tem o potencial de recuperar áreas anteriormente improdutivas em regiões tropicais e subtropicais, combinando a produção pecuária e florestal na mesma área por um período definido (MEO-FILHO et al., 2022). Em adição, pastagens com *Urochloa*, tem maior eficiência em termos de kgCH₄ por kg de carne produzido no método de pastejo rotativo (PIOTTO, 2016).

Todavia, há a necessidade de mensuração dos índices de eficiências desses sistemas, e, sobretudo, CH₄ emitido por bovinos.

2. Hipóteses

A melhor qualidade da forragem potencializa a degradação da fibra dentro do rúmen, melhorando a taxa de passagem no trato gastrintestinal (TGI) e, consequentemente, a eficiência animal.

O consumo de matéria seca é potencializado nos sistemas mais intensificados de produção, onde há alta oferta de forragem, como no verão, quando submetidos a adubação; e a combinação de forrageiras durante o inverno juntamente com a irrigação

proporciona alto ganho de peso num período onde há escassez de alimento em sistemas convencionais de produção.

A perda energética através do metano entérico contribui negativamente para a eficiência da atividade microbiana ruminal.

Os sistemas intensificados e/ou integrados têm a capacidade de reduzir a perda energética provocada pela produção de metano quando expressa em unidade de produção (ganho de peso e área) e aumentar a eficiência da fermentação e dinâmica ruminal.

3. Objetivos

3.1. Objetivo geral

Investigar os efeitos da intensificação dos sistemas de produção animal, incluindo a integração dos mesmos com índices de eficiência de emissão de CH₄ entérico.

3.2. Objetivos específicos

Avaliar a modulação da fermentação ruminal através dos parâmetros ruminais como: pH, contagem de protozoários, ácido graxo de cadeia curta, nitrogênio amoniacal e metano entérico nos diferentes tratamentos e estações do ano

Medir a eficiência animal por meio do consumo de matéria seca (MS) e a degradação *in situ* para determinação da taxa de digestão ruminal da MS (Kd), juntamente com a determinação da taxa de desaparecimento ruminal da MS (Kt), taxa de passagem ruminal da MS (Kp) e tempo de colonização dos micro-organismos ruminais ao substrato (*lag-time*) nos diferentes tratamentos e estações do ano.

Determinar a efetividade da modulação ruminal por meio da energia liberada no rúmen na forma de CH₄ (*Methane Yield* - YM) em relação a energia bruta e a energia digestível de animais fistulados em seus tratamentos durante as estações do ano.

Mensurar a emissão de CH₄ através da técnica do gás traçador SF₆ e sua relação com as variáveis de produção nos diferentes tratamentos e estações do ano, de acordo com a intensificação e integração dos sistemas de produção.

4. Referencial Teórico

4.1. Cenário econômico do mercado da carne

A crescente exploração comercial de bovinos de corte no Brasil nos últimos anos fez com que novas tecnologias e estratégias de manejo fossem desenvolvidas, buscando tornar o sistema mais eficiente, viável e autossustentável (SAMPAIO e FONSECA, 2019).

Mesmo em um cenário econômico conturbado, o Brasil conquistou novos mercados e avançou em regiões consolidadas. O resultado disso foi o registro do maior volume de carne bovina já exportada pelo Brasil. Impulsionados pela crescente demanda chinesa, os embarques somaram um total de 1,8 milhão de toneladas, 13,6% acima de 2018. Nesse mesmo período, a área de pastagens utilizada permaneceu praticamente estável, em 162,5 milhões de hectares, com uma produtividade média também estável, de 4,2 @/ha ao ano (ABIEC, 2020).

Dadas as projeções demográficas e o aumento do padrão de vida nas nações em desenvolvimento, a Organização para Alimentação e Agricultura (FAO, 2022) projeta que a demanda de carne vermelha de ruminantes continuará a aumentar ao ritmo de cerca de 1,5% ao ano.

4.2. Sistemas de produção a pasto

Um dos grandes questionamentos sobre a bovinocultura é a respeito da grande quantidade de terra para produção de carne (SILVA et al., 2021a). De acordo com Dias-Filho (2014), cerca de 50% das pastagens brasileiras são consideradas degradadas, 30% estão em processos de degradação e 20% estão em boas condições para uso como pastejo. Porém, a pastagem também traz benefícios ao meio-ambiente como o aumento na biodiversidade e os solos e a forragem onde estas estão estabelecidas têm potencial de sequestro de CO₂ (GUIMARÃES, 2022).

A produção pecuária baseada em pasto está em grande parte centrada em sistemas de monocultura que degradam as pastagens, a qual reflete na sustentabilidade no processo produtivo (KICHEL, MIRANDA e ZIMMER, 1999). Segundo Dias-Filho (2017), a degradação é um processo contínuo de decadência da produtividade. Portanto, das pastagens mapeadas no território brasileiro, 154 milhões de hectare, cerca de 89 milhões de hectares se apresentam com algum nível de degradação (LAPIG, 2020).

O clima e sua variabilidade se constituem num dos principais fatores condicionantes da produção vegetal, determinando o sistema agrícola a ser empregado (sequeiro ou irrigado), o crescimento e o desenvolvimento das plantas e, conseqüentemente, os níveis de produtividade, além de interferir na relação das plantas com os microrganismos (pragas e doenças). Porquanto, torna-se importante também considerar como as mudanças climáticas, que já vem ocorrendo e as que deverão continuar nas próximas décadas, poderão impactar o uso da irrigação, ou ainda, como a intensificação do sistema irrigado, onde possível, poderá se tornar uma aliada na mitigação dos efeitos negativos das mudanças climáticas na produção (SENTELHAS, 2022).

Segundo Gomide et al. (2020), a adubação nitrogenada também gera grandes incrementos produtivos e seu uso proporciona um maior perfilhamento das plantas no período pós-pastejo, dessa forma, as gramíneas adubadas apresentam maior proporção de folhas em relação aos seus demais componentes, promovendo grandes aumentos na produtividade da pastagem.

Em solos tropicais de sistemas integrados, a renovação de nutrientes e biomassa microbiana ocorre mais rapidamente do que em solos temperados, sendo fundamental implementar estratégias de manejo que minimizem a perturbação do solo, promovendo o aumento da produção e da atividade biológica, de forma sustentável. Portanto, pastagens tropicais bem manejadas tem enorme capacidade de sequestro de carbono (SANTOS, 2022).

Dentre os sistemas integrados, o sistema silvipastoril aumenta a eficiência do uso dos recursos naturais e diversifica a produção da propriedade rural, envolvendo várias atividades agrícolas (ALMEIDA et al., 2020; CASTRO et al., 2008). Além disso, tal sistema de produção permite a incorporação de nutrientes, o incremento de atividade microbiana do solo e a possibilidade de aumento do valor nutritivo da forragem, se bem manejado (CASTRO SANTOS et al., 2018). Em adição, podem ser utilizados para proporcionar um microclima mais favorável nas pastagens. Assim, a pecuária de corte se beneficia do ambiente mais ameno e apresenta maior conforto térmico, o que favorece a produção de alimentos e o uso racional dos recursos naturais (GIRO et al., 2019).

Em relação ao tipo de sistema de pastejo, o pastejo contínuo consiste em deixar os animais durante todo o ano alimentando-se de uma mesma pastagem, sendo que pode variar ou não a taxa de lotação destes animais, sendo a maior vantagem em adotar este

sistema o menor investimento com cercas, bebedouros e cochos, exigindo pouca decisão de manejo (VIEIRA, 1997).

Uma das principais técnicas adotadas no processo de intensificação dos sistemas pastoris é o pastejo racionado, o qual consiste na utilização de pelo menos dois piquetes submetidos a sucessivos períodos de descanso e de ocupação. Enquanto que no período de descanso corre a rebrota da planta forrageira na ausência do animal, no período de ocupação ocorre a utilização do pasto como consumo pelos animais, e de maneira consecutiva, o crescimento da forragem (MORAIS, 2022).

Complementando, a mudança na escolha das forrageiras tradicionais por cultivares melhoradas geneticamente, apresenta-se como a possibilidade mais provável e de grande capacidade de impacto para o aumento da produtividade das pastagens brasileiras (PEREIRA et al., 2003).

4.3. Transferência de tecnologia em cultivares tropicais (gêneros *Urochloa* e *Megathyrsus*) e temperadas (*Avena byzantina* e *Lolium multiflorum*)

O conjunto das cultivares forrageiras tropicais foram alcançadas por métodos de coleta e/ou introdução executadas por instituições de pesquisa pública e privada. Dentre as espécies cultivadas, as forrageiras dos gêneros *Urochloa* e *Megathyrsus* foram de maior relevância, fato observado pela maior área cultivada dessas gramíneas e pelo enorme valor empregado ao comércio de suas sementes (FARIA, 2022).

As pesquisas e tecnologias voltadas à produção de espécies do gênero *Megathyrsus maximus* proporcionam o desenvolvimento de novas cultivares com maior capacidade de adaptação às condições de solos e clima brasileiro (SOUZA et al., 2018), enquanto que as braquiárias são as forrageiras mais cultivadas do Cerrado e a maioria possui baixa exigência sendo indicada para solos com baixa fertilidade (RODRIGUES, 2022). Em termos de produtividade das forrageiras tropicais do gênero *Urochloa* e *Megathyrsus*, aquela varia de acordo com a sazonalidade e sistema de pastejo.

No estudo de Pasquini Neto (2022), o qual é parte deste presente estudo, observou-se que houve efeito das interações sistema de pastejo x estações do ano nas produtividades observadas das cultivares do gênero *Megathyrsus* nos sistemas irrigado (consorciado com aveia e azevém no inverno) e sequeiro, que, de uma forma geral, foram superiores e

semelhantes (45,6 kg de MS/ha/dia) em todas as estações primavera, verão e outono; enquanto no inverno os fatores produtivos foram limitados, onde o incremento do consórcio foi substancial. Neste mesmo estudo, para as cultivares do gênero *Urochloa* as diferenças resultaram em 71,8 kg de MS/ha/dia, para os mesmos parâmetros de produtividade e sazonalidade.

O cultivo de forrageiras temperadas como aveia (*Avena byzantina*) e azevém (*Lolium multiflorum*) pode ser feito com propósitos múltiplos, de forma a maximizar a produção e a proteção do solo, a diminuir riscos de perdas totais da lavoura e a aumentar a possibilidade de lucro. Assim sendo, *Avena byzantina* cv. São Carlos (aveia amarela) destina-se exclusivamente ao uso como forragem (pastejo direto, feno, silagem) ou cobertura morta e suas sementes não tem valor como grãos para alimentação e sua produtividade foi superior a 1 tonelada/ha de matéria seca de boa qualidade nutricional, com maior que 13% de proteína bruta (EMBRAPA PECUÁRIA SUDESTE, 2005); e o *Lolium multiflorum* Lan. cv. BRS Ponteio (azevém) além de ser 7% mais produtiva do que a melhor testemunha, possui ciclo mais longo e melhor proporção folha/colmo do que a cv. Comum (EMBRAPA CLIMA TEMPERADO, 2007).

Se o consórcio com diversas forrageiras se mostra viável, a mistura de gramíneas tropicais, uma técnica relativamente nova e pouco utilizada e/ou utilizada empiricamente, revela um potencial de uso com resultados interessantes (CAMPOREZI, 2022). O intuito de se fazer a mistura de gramíneas, parte do princípio de complementariedade entre as espécies, que se difunde muito bem dentro do gênero *Urochloa* por aparentarem diferentes características morfológicas, rápido crescimento, boa produtividade de massa e adaptabilidade à diversidade edafoclimática (BARBOSA et al., 2018).

4.4. Panorama geral da emissão dos gases de efeito estufa

A temperatura média da terra na última década tem aumentado constantemente, resultando nas temperaturas mais quentes já registradas (NASA 2020) e o CH₄ é o segundo gás de efeito estufa mais abundante e um importante contribuinte para o aquecimento do clima (LIU, PROUDMAN e MITLOEHNER, 2021).

Uma nova alternativa à mitigação de emissão de gases de efeito estufa é a redução dos poluentes de meia-vida curta, como por exemplo o CH₄, o qual é cerca de 23 vezes

mais eficiente para fazer efeito estufa por molécula do que o CO₂, e tem meia-vida de cerca de 12 anos. Portanto, a redução de emissões de metano tem um impacto no clima mais rápido do que reduções nas emissões de CO₂, que tem meia-vida atmosférica dependente do processo de absorção, que vai de 100 a 10.000 anos (ARTAXO, 2014)

Em um cenário de uso intensivo de energia e de recursos, no qual o crescimento econômico e a globalização levam à adoção generalizada de estilos de vida intensivos em gases de efeito estufa, incluindo a alta demanda por combustíveis para transporte e produtos animais (IPCC, 2018), a emissão de metano através da pecuária de corte a pasto chega a 188,4 g/dia, o que é consideravelmente alta se comparada aos valores médios das variáveis de desempenho e relacionadas ao metano, 78,2 g/dia (SAKAMOTO, 2018).

Segundo o último relatório do IPCC (2022), manter o aumento da temperatura global em 1.5°C ainda é possível, mas apenas com ação imediata. O mundo irá atingir o pico das emissões de GEE até 2025, reduzir essas emissões quase pela metade até 2030, atingir o zero líquido até meados do século e, ao mesmo tempo, assegurar uma transição justa e equitativa. Com riscos crescentes de secas, inundações, incêndios florestais e outros efeitos catastróficos das mudanças climáticas, esses são prazos que não podemos deixar passar (IPCC 2022).

Com o intuito de desenvolver inventários nacionais de gases do efeito estufa com alta qualidade e que pudessem ser comparados entre si, o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climática (IPCC), desenvolveu e continua desenvolvendo uma série de princípios e procedimentos metodológicos como o conceito dos *Tiers* 1, 2 e 3. O *Tier* 1 é recomendado para situações onde não há disponibilidade de fatores de emissão específicos para o país, ou limitações quanto aos dados de atividade como por exemplo, informações sobre o uso da terra ou sobre as populações dos rebanhos. *Tier* 2 é recomendado para situações onde existe a disponibilidade de fatores de emissão específicos para as principais condições do país ou região e/ou maior detalhamento para os dados das atividades. O *Tier* 3, no caso da convenção quadro das Nações Unidas, se refere ao uso de procedimentos metodológicos desenvolvidos especificamente pelo país, o qual pode incluir modelagem e maior detalhamento das medidas dos inventários (GHG PROTOCOL, 2015).

O cálculo da emissão de metano pelo *Tier* 2 do IPCC (IPCC, 2006) é relativamente simples e pode ser utilizado para comparação com os valores efetivamente determinados

nos experimentos (Tier 3). Para calcular os fatores de emissão de metano utilizando as equações do *Tier 2* do IPCC são necessárias as seguintes variáveis: categoria animal (1- animais em crescimento e terminação, vacas secas; 2- vacas em lactação; 3- touros); peso vivo (kg); sistema de alimentação (1-confinamento; 2- pastejo; 3- pastejo extensivo); sexo (1- fêmeas; 2-novilhos; 3- touros); peso das fêmeas adultas com condição corporal média (kg); ganho médio de peso (kg/dia); produção de leite (kg/dia); teor de gordura do leite (%); número de horas trabalhadas (pouco se aplica aos sistemas de produção de carne ou leite); taxa de prenhez média (%); teor de energia digestível (%) e tipo da dieta (1- alto grão; 2- forragem de alta qualidade; 3- forragem de média qualidade; 4-forragem de baixa qualidade) (BERNDT et al., 2014).

Para o cálculo do CO₂ são utilizadas algumas conversões, sendo que a mais utilizada é o GWP (Global Warming Potential) ou PAG (potencial de aquecimento global) proposto pelo IPCC. O Quarto Relatório de Avaliação do IPCC (AR4) (FOSTER et al., 2007) já examina métricas alternativas ao GWP e o Quinto Relatório de Avaliação do IPCC (AR5) aprofunda essa análise. Entre as métricas propostas apresentadas no AR4 está o Global Temperature Potential – GTP (ZHANG et al., 2011). O relato, segundo as Diretrizes Agrícolas Brasileiras, deve ser realizado em unidades de massa de cada gás de efeito estufa utilizando a métrica do GWP-100 do AR4, seguindo as diretrizes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC), 5 GTP100 equivale a 25 PAG100 ou GWP 100 (IPCC, 2013).

O potencial de aquecimento global (PAG) é uma medida da quantidade de energia que as emissões de uma tonelada de um gás (N₂O ou CH₄) irão absorver durante um determinado período de tempo, relativamente às emissões de uma tonelada de dióxido de carbono, gás de referência (CAIN et al., 2019). Estimava-se que o CH₄ tinha um PAG de 23 a 36 vezes superior ao do CO₂ ao longo de 100 anos e o N₂O representa um PAG de 273 vezes superior ao do CO₂, durante o mesmo período de tempo (EPA, 2022). Todavia, sabendo-se que o metano é um poluente climático de curta duração, é fundamentalmente incorreto avaliar a contribuição climática do CH₄ da mesma forma que o CO₂. O PAG métrico amplamente utilizado superestima o CH₄, induz o "aquecimento" e não reflete o relativo "resfriamento" quando a emissão está diminuindo (LIU et al. 2021).

Uma outra metodologia seria a técnica do traçador hexafluoreto de enxofre (SF₆), para determinação de CH₄ ruminal, a qual foi desenvolvida por Kristen A. Johnson e Hal H. Westberg, na Washington State University, em Pullman, Washington, EUA, e descrita

detalhadamente no manual de Westberg et al. (1998) o qual descreve técnica desde a adaptação e o manejo dos animais, e a construção dos equipamentos até as determinações cromatográficas e os cálculos necessários para se determinar os fluxos das emissões de CH_4 ruminal (PRIMAVESI et al., 2004). É fundamental identificar as ações antrópicas que contribuem para as emissões de gases de efeito estufa e adotar estratégias que reduzam os impactos ambientais (OLIVEIRA, 2015; RAPOSO et al., 2020). Assim, a intensificação dos sistemas de pastagem e sua integração com as culturas e componentes florestais resultam na melhoria do desempenho animal e trazem efeitos benéficos ao meio ambiente ao reduzir as emissões entéricas de metano quando expressas por unidade de produto e/ou área (LOBO et al., 2022).

Resende et al. (2020) indica a intensificação das pastagens e a recuperação de pastagens degradadas para reduzir os impactos ambientais causados pelos GEE, emitidos pela pecuária. Pode-se dizer que o sequestro de carbono pela pecuária é realizado por meio de ações interligadas e que dizem respeito ao contínuo crescimento da pastagem, e consequentemente do seu sistema radicular, responsável pelo acúmulo do carbono no solo (PINHEIRO, 2019). Essa afirmação também foi constatada por Vasconcelos e Gonçalves (2008), ao comparar a relação do carbono sequestrado e armazenado no solo, na vegetação e na atmosfera, sendo 1.500, 600 e 800 bilhões de toneladas de C, respectivamente.

É esperado que a resposta das diferentes espécies vegetais (plantas C_3 e C_4) à elevação da concentração de CO_2 varie (GRAY e BRADY, 2016). Assim, sob maior concentração de CO_2 as plantas de metabolismo C_3 deverão apresentar uma redução das perdas por fotorrespiração, havendo um aumento na taxa de fotossíntese líquida, enquanto as plantas com metabolismo C_4 não deverão responder na mesma proporção ao incremento de gás carbônico atmosférico (ARAÚJO et al., 2015; MARTINEZ et al., 2015). Por outro lado, as plantas de metabolismo C_4 poderão ser beneficiadas pela elevação na concentração de CO_2 , quando submetidas às condições de déficit hídrico ou nutricional (LEAKEY, 2009).

A cadeia de produção poderia ser melhorada através de estratégias precisas de manejo animal que reduzissem a idade de abate e aumentasse o ganho diário de peso individualmente ou por área, utilizando o manejo de pastagens e a suplementação animal estratégica, o que poderia subsequentemente reduzir as emissões de GEE na produção de gado de corte (D'AUREA, 2021).

4.5. Estratégias para mitigação de metano

4.5.1. Estratégias de pastejo e práticas de manejo para mitigar as emissões de CH₄ ruminal

Os ecossistemas pastoris variam em espécies forrageiras e manejo, e isto reflete na quantidade, qualidade ingerida e nas emissões de CH₄ (HERRERO et al., 2013; LOBATO et al., 2014). Além disso, composição do rebanho, raça estado sanitário, suplementação e eficiência reprodutiva dentro do manejo tornam a produtividade do rebanho e a intensidade de CH₄ altamente variáveis (McMANUS et al., 2016).

A intensidade da emissão de metano, medida como emissões por unidade de carne e leite, tem diminuído continuamente nas últimas décadas devido a melhorias na eficiência de produção e no desempenho dos animais, e espera-se que isto continue. Assim, são necessárias diminuições na intensidade de emissão (g CH₄/ produto ou variável animal) (BEAUCHEMIN, et al., 2020).

Dependendo da taxa de crescimento do rebanho, uma determinada taxa de lotação poderia resultar em diferentes alturas de pasto, níveis de consumo, produção e intensidade de emissão de CH₄, contudo as comparações entre diferentes sistemas de produção a pasto são escassas (ZUBIETA et al., 2021). A taxa de lotação está diretamente relacionada com a variável de desempenho animal (McCARTHY et al., 2011). A degradação por superpastejo é comum em muitas áreas do mundo e a redução da pressão de pastejo através da moderação da taxa de lotação proporciona menos emissão de gases de efeito estufa e melhora a composição das pastagens (ZHANG, 2015). Uma outra alternativa para mitigar as emissões de CH₄ de bovinos em sistemas de pastejo é através da melhoria da qualidade das forragens oferecidas (DINI, 2018).

Segundo Gregorini et al. (2008), o atendimento das exigências nutricionais e a frequência do fornecimento dos alimentos para animais ruminantes melhora a absorção de nutrientes pelos microrganismos ruminais, reduz a excreção de N, melhora a síntese de proteína microbiana e muda as vias de fermentação ruminal para um ambiente de baixo ter de CH₄, e, conseqüentemente, no sistema rotacionado isto também pode ser alcançado mudando o tempo de ocupação do piquete ou a frequência de suplementação.

Pastos com alta massa de forragem disponível são considerados por alguns como melhores para que os animais aumentem o consumo de forragem de maior qualidade

(HOOGENDOORN et al., 1992). A altura do dossel no sistema de pastejo permite que os animais maximizem a taxa de ingestão até que a altura do pasto atinja uma média de 40% (CARVALHO et al., 2013). Este resultado mostra que, tanto no pastejo contínuo (SOUZA FILHO et al., 2019) quanto no pastejo rotativo (SAVIAN et al., 2018), o manejo com o critério de altura e a moderada taxa de lotação mitiga consistentemente a intensidade da emissão de CH₄; corroborando com Rocha (2014), onde compara métodos de pastejo manejados com diferentes estratégias, que o método de pastejo com lotação contínua com controle de altura possui desempenho animal e produtividade forrageira semelhantes as demais estratégias de pastejo testadas com método de lotação rotativa tendo esta como critério a oferta de forragem.

Soares et al. (2005) observaram que a disponibilidade de forragem (kg/ha) aumentou ao reduzir a taxa de lotação para moderada e fazendo o desbaste das árvores do sistema silvipastoril, alcançando um melhor desempenho animal, pois a interceptação luminosa (IL) é um indicador de equilíbrio entre o crescimento das plantas e sua senescência, e tem sido amplamente sugerida como um alvo ideal de parâmetros fisiológicos para iniciar o pastejo, sendo o ponto ideal para o pastejo na rebrota, uma IL de 95% (SILVA e NASCIMENTO JÚNIOR, 2007). É provado que a redução das emissões de CH₄ com a IL é devido a melhoria da produção de forragem a qual reflete no melhor desempenho animal (da Silva et al., 2015).

Além disso, em experimentos com pastagens tropicais, a fertilização com N reduz a intensidade de emissão de CH₄ por hectare, pois aumenta a produtividade das pastagens e a taxa de lotação, o que abre a oportunidade de produzir a mesma quantidade de carne com menos área e menores emissões de CH₄ por hectare, em relação as pastagens não fertilizadas (ALCOCK e HEGARTY, 2006; RUVIARO et al., 2015; VASCONCELOS et al., 2018).

Deste modo, Amaral et al. (2016) não relataram nenhum efeito da fertilização N sobre o rendimento ou intensidade de emissão de CH₄, mas um aumento de 35% tanto no ganho de peso por hectare quanto de CH₄ por hectare com pastagem *Pennisetum americanum* com ovelhas, já que a fertilização aumentou de 50 para 400 kg N/ha, principalmente por causa do duplo aumento na taxa de lotação. Berndt et al. (2014) observaram uma resposta semelhante com pastagens tropicais irrigadas e fertilizadas com 600 kg N/ha/ano, com respeito às pastagens não fertilizadas/irrigadas degradadas.

4.5.2. Suplementos dietéticos usados para mitigar as emissões de CH₄ ruminal

A suplementação estratégica de animais de pasto pode reduzir o rendimento e a intensidade de emissão de CH₄ (HRISTOV et al., 2013).

Os animais ruminantes e a microbiota ruminal estão em uma relação simbiótica constante no intuito de melhorar a degradação das fibras e a digestão dos nutrientes. Os animais ruminantes estão cada vez mais sendo submetidos a dietas com abundância de grãos e com pouca fibra. Quando alimentados com dietas deficientes em fibras, os mecanismos fisiológicos e biológicos são perturbados, o pH ruminal diminui, a ecologia microbiana é alterada, e o animal é propenso a distúrbios metabólicos e nutricionais e, em alguns casos, há presença de doenças infecciosas. A fim de administrar esta condição, certos processos devem ser inibidos ou promovidos na tentativa de manipular os mecanismos biológicos e fisiológicos do rúmen para melhorar a produtividade e o desempenho (ADENIJI, SANNI e MUTASSIM, 2020).

A área mais promissora da pesquisa é o desenvolvimento de novos produtos/sistemas de fornecimento de compostos antimetanogênicos ou aceptadores alternativos de elétrons e redução do número de protozoários no rúmen (MOSS, 2000).

Os ionóforos, como a monensina e lasalosida, são aditivos muito utilizados na nutrição de ruminantes. No entanto, possuem características medicamentosas, selecionando microrganismos, modulando a fermentação ruminal e dificultando o crescimento ou eliminando algumas espécies (PERNA JUNIOR, 2018).

Os taninos podem ser usados para minimizar o impacto ambiental da produção de ruminantes porque podem melhorar a fermentação ruminal e o desempenho durante sua vida útil e mitigar as emissões de metano (CH₄). A adição de taninos na dieta de bovinos de corte poderia ser usada como uma alternativa natural sustentável para reduzir o impacto ambiental da produção de carne bovina (ORZUNA-ORZUNA, 2021).

Em um estudo usando silagem de casca de mandioca com torta de dendê resultou na redução de CH₄ entérico produzido (SANTA ROSA, 2023), pois inibe a atividade de microrganismos metanogênicos, por conta dos ácidos graxos de cadeia média, que alteram a fermentação ruminal por serem tóxicos decaindo a formação de metano (PROCESSI, 2015; DE LIMA SANTOS et al., 2020).

Os óleos essenciais de orégano e tomilho branco têm o potencial de modular a fermentação ruminal e suprimir a metanogênese ruminal sem efeitos negativos na digestibilidade da dieta, indicando promessa como alternativas aos ionóforos para a redução do metano com produção *in vitro* de 131,71 e 118,88 mL/g DIVMS), respectivamente, em bovinos de corte, na dose de 250 mg/L (BENETEL et al., 2022).

A substituição de 20% da MS por bagaço de *Vitis vinifera* cv. País reduz a produção *in-vitro* de N-NH₃ e de CH₄, reduzindo da DIVMS e AGCC total, e tem potencial para substituir parcialmente fontes fibrosas na alimentação de ruminantes, agregando valor a um resíduo agroindustrial altamente disponível e contribuindo para a sustentabilidade dos sistemas pecuários (SUESCUN-OSPINA, 2022).

O aditivo 3-nitrooxipropanol reduz a emissão de CH₄ de 20 a 40%, porém será necessário combinar estratégias para atingir a redução considerável necessária (BEAUCHEMIN, 2020). Algas marinhas, 3-nitrooxipropanol (3-NOP) e fitoquímico (NO₃⁻) são os aditivos alimentares mais eficazes para a redução de ruminantes CH₄ emissões, e mostram-se promissoras como estratégias de mitigação disponíveis para pecuária no curto prazo. (ALMEIDA, HEGARTY e COWIE, 2021). Em contrapartida, estudos relataram resíduos no leite (aumento das concentrações de iodo e brometo) como resultado da alimentação com *Asparagopsis* para bovinos leiteiros (STEFENONI et al., 2021).

Lee e Beauchemin (2014) demonstraram que o nitrato é um aditivo alimentar candidato viável que poderia ser usado para mitigar as emissões entéricas de CH₄ em ruminantes. Em adição, a suplementação de animais Nelore a pasto com nitrato encapsulado reduz a abundância de *Metanobrevibacter*, promovendo bactérias produtoras de fumarato reduzido a lactato, reduzindo a produção de acetato durante a fermentação ruminal (GRANJA-SALCEDO et al., 2019).

Os problemas sociais podem ser minimizados com adoção de estratégias para mitigar a emissão de gases de efeito estufa. Para isso, a ONU e seus parceiros públicos e privados no Brasil, incluindo a abordagem ESG (do inglês *Environmental, social, and corporate governance*), estão trabalhando para atingir os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). São 17 objetivos que abordam os principais desafios de desenvolvimento enfrentados por pessoas no Brasil e no mundo como pobreza, fome, saúde, educação, aquecimento global, igualdade de gênero, água, saneamento, energia,

urbanização, meio ambiente e justiça social, como consequência de problema políticos, econômicos e ambientais (ONU, 2015).

4.5.3. *Metanogênese ruminal*

O ecossistema ruminal é habitado por diversas espécies de microrganismos, incluindo aproximadamente 10^{11} bactérias/mL, 10^6 protozoários/mL, 10^3 fungos/mL e 10^9 arqueias metanogênicas/mL de conteúdo ruminal (CIESLAK et al., 2013), sendo as bactérias constituintes de 60% a 90% da biomassa microbiana com cerca de 200 espécies (KOZLOSKI, 2002).

As arqueias metanogênicas, responsáveis pela produção de CH_4 , formam um grupo distinto de microrganismos, possuindo cofatores (coenzima M, F_{420} , F_{430}) e lipídeos únicos - éteres de isopranyl glicerol (McALLISTER et al., 1996). Considerando que os protozoários ciliados têm um grande potencial de produção de hidrogênio no rúmen, a associação entre arqueas e protozoários indica uma relação simbiótica, em que as metanogênicas, por utilizarem o hidrogênio produzido pelos ciliados, favorecem a manutenção de um ambiente ruminal adequado ao desenvolvimento destes microrganismos (VAN SOEST, 1994).

A maioria das arqueas ruminais utilizam energia para o seu próprio crescimento através da redução bioquímica de CO_2 com H_2 , enquanto algumas bactérias utilizam acetato e compostos contendo grupo metil para produzir metano, sendo a metanogênese considerada uma etapa limitante. A atividade das arqueas é importante para a manutenção da digestão anaeróbia eficiente e evita o acúmulo de H_2 e ácidos graxos de cadeia curta. Além disso, as arqueas são vulneráveis a parâmetros tais como temperatura e pH (LIU e WHITMAN, 2008).

A atividade enzimática microbiana no rúmen resulta da hidrólise da maior parte da matéria orgânica dietética, e o metano proveniente da digestão dos alimentos representa perda de energia para o animal e contribui para o aumento do metano presente na atmosfera. Deve-se levar em conta, entretanto, que a produção de CH_4 é diretamente proporcional à concentração de hidrogênio (H_2) dissolvido, que é influenciada por fatores no ecossistema ruminal como as taxas de produção de acetato e propionato. A pesquisa sobre o processo de metanogênese pretende determinar um método para direcionar o H_2

dissolvido para rotas alternativas no processo de fermentação ruminal, a fim de reduzir a disponibilidade de substrato para metanogênese (HEGARTY, 2001).

Assim, as perdas de energia também poderiam ser reduzidas através da diminuição dos níveis de produção entérica de CH₄. Conquanto, a produção de CH₄ pode ser considerada uma perda de cerca de 6 a 12% da energia dietética ingerida (NIU et al., 2018). Emitir metano é inevitável, uma vez que este é, de toda forma, produto da fermentação ruminal.

4.5.4. Fermentação e cinética ruminal

O uso de tecnologias na nutrição animal permite eficiência a fermentação ruminal e vários modelos tentam explicar a cinética de degradação dos nutrientes, porém, grande parte da resposta está no ecossistema ruminal. O microbioma pode mudar a expressão das transcrições das vias bioquímicas de degradação das fibras e produção de ácidos graxos de cadeia curta (AGCC) em resposta à redução do pH, por exemplo, e pelo menos uma parte das mudanças nas transcrições enzimáticas é associada à alteração da estrutura da comunidade microbiana (GLEASON e WHITE, 2019).

Os nutrientes absorvidos dependem da digestibilidade, mas o consumo é responsável pela maior parte das diferenças entre os alimentos e, nesse contexto, a digestibilidade está relacionada com a cinética e a taxa de passagem da digesta pelo trato digestivo (SILVA, 2011).

Contudo, o teor de FDN da dieta é um dos principais determinantes da regulação física do consumo, tornando-se o fator que mais afeta o consumo à medida que o requerimento energético do animal e o efeito de enchimento das dietas aumentam, devido a sua baixa velocidade de digestão, sendo associado com a capacidade de enchimento do trato digestivo (ALLEN, 2000). Desta forma, a efetividade da fibra dos alimentos é de fundamental importância na nutrição de ruminantes de alta produtividade, quando se trabalha próximo aos limites fisiológicos do animal (OLIVEIRA, AGUIAR e MENEZES, 2008).

O pH é diretamente afetado pela produção de AGCC, no qual um aumento na concentração ruminal leva a uma diminuição do pH (GASTELEN, DIJKSTRA e BANNINK, 2019). O pH também pode ser afetado pelos níveis de nitrogênio amoniacal

(N-NH₃) (CASTRO et al., 2021), pois a rápida hidrólise do composto nitrogenado em amônia provavelmente aumenta o pH devido ao seu poder alcalinizante (CARMO et al., 2005).

Os AGCCs gerados a partir da fermentação ruminal por microrganismos fornecem até 75% da energia metabolizável total em ruminantes e o pH ruminal é um fator importante, que afeta o perfil e a produção de AGCC, deslocando a comunidade microbiana (LIEBE e WHITE, 2019).

Deste modo, a degradação da proteína ruminal é afetada pelo pH e pelas espécies predominantes da população microbiana, e a atividade proteolítica ruminal diminui à medida que o pH diminui (BACH, CALSAMIGLIA e STERN, 2005).

A composição da dieta, em particular a qualidade das forragens (maturação e variedade), influencia na produção de metano no rúmen, sendo que forragens de alta qualidade, por exemplo compostas por plantas jovens, podem reduzir a produção de metano alterando a via de fermentação (SILVA et al., 2022).

Em síntese, práticas agrícolas adequadas podem reduzir e/ou mitigar as emissões de GEE e melhorar a sustentabilidade do setor pecuário, tal que, a manipulação da fermentação ruminal nos sistemas de produção é considerada a importante estratégia para mitigar as emissões de GEE no Brasil (LOBO, BERNDT e BUENO, 2019).

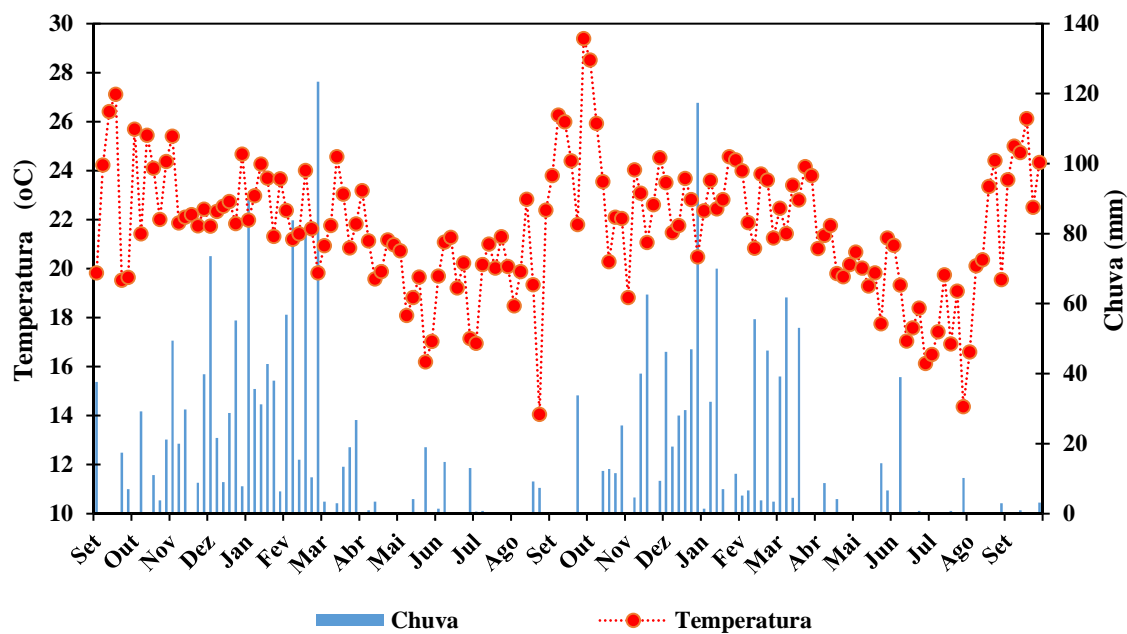
5. Material e Métodos

5.1. Localização, características edafoclimáticas, questões éticas e animais

O experimento foi realizado na Embrapa Pecuária do Sudeste, em São Carlos, SP, Brasil (21° 57' S, 47° 50' W, com 860 m de altitude), e teve duração de dois anos consecutivos (2019-2021). O solo da área experimental é composto por Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico (CALDERANO FILHO, 1998), com clima tropical de altitude, e as estações de inverno e verão bem definidas, apresentando no período experimental temperatura média de 21,6 °C e 21,7 °C para ano 1 e ano 2, respectivamente, umidade relativa do ar média anual de 69,2% e pluviosidade acumulada de 1225,6 mm (ano 1) e 995,4 mm (ano 2) onde foram anos de secas severas com atraso nas chuvas e

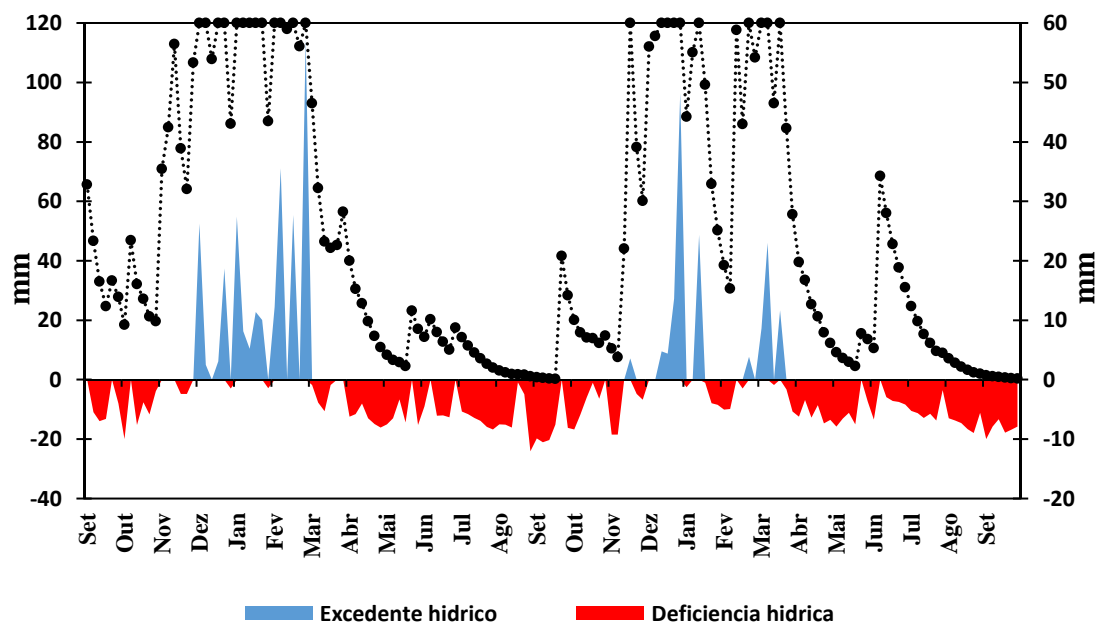
presença de veranico, de acordo com dados climáticos obtidos na Estação Meteorológica Automática instalada próxima do local do experimento (Figuras 1 e 2).

Figura 1 – Variação de temperaturas e volume de chuvas ao longo de dois anos experimentais (2019-2021)



Fonte: Estação experimental localizada na área experimental na Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos, SP, Brasil.

Figura 2– Balanço hídrico ao longo de dois anos experimentais (2019-2021)



Fonte: Estação experimental localizada na área experimental na Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos, SP, Brasil

Os animais experimentais foram manejados de acordo com as Diretrizes do Comitê Institucional de Cuidados e Uso de Animais (nº 05/2016) da EMBRAPA e CEUA nº 3369200519, da Universidade de São Paulo.

Um total de 40 animais experimentais por ano, da raça Nelore (*Bos taurus indicus*) com 375 ± 30 kg de peso corporal e de 15 a 16 meses de idade foram utilizados, sendo quatro animais em cada tratamento por ano: um animal fistulado para coleta de dados de fermentação ruminal, um animal para avaliação de desempenho e dois animais para medições de produção de metano entérico (SF_6 - hexafluoreto de enxofre – técnica traçadora), distribuídos em cinco tratamentos com duas repetições cada, havendo em cada tratamento por ano, quatro animais chamados *testers*. Um número variável de animais não-experimentais, chamados de “reguladores”, foi usado para ajustar a carga animal da área de pastejo usando a técnica *put and take* (MOTT e LUCAS, 1952) manejada sob lotação contínua para DEG e rotativa para IHS, DHS, LF e DMS com ciclos de pastejo de 36 dias. Todos os sistemas de pastejo foram manejados com um número variável de animais “reguladores” durante todo o período experimental para ajustar as taxas de lotação e manter a oferta de forragem das pastagens entre os sistemas, mantendo uma pressão de pastejo próxima das capacidades de suporte para cada pastagem utilizada e baseando nas respectivas alturas de resíduo das espécies, conforme recomendação de COSTA e QUEIROZ (2013).

5.2. Período experimental e coletas de amostras

O período experimental compreendeu dois anos consecutivos e todas as variáveis foram coletadas durante as quatro estações do ano, sendo elas primavera, verão, outono e inverno. As amostragens eram feitas de forma sequencial em relação às variáveis, conforme o calendário de coletas pré-determinado.

Fez-se cinco dias de coletas de amostras de metano entérico (cangas), concomitantemente foi fornecido dióxido de titânio (TiO_2) para estimar o consumo de forragem, foi utilizado TiO_2 como indicador externo de produção fecal, e a fibra em detergente neutro indigestível (FDNi) como um indicador interno para determinar a digestibilidade da forragem nos animais *tester* de desempenho; assim administrou-se cápsulas com 15 g de TiO_2 uma vez ao dia por 10 dias, e nos últimos cinco dias coletou-se fezes.

As amostragens de conteúdo ruminal (sólido e líquido) foram realizadas via cânula ruminal, de animais fistulados no rúmen, nos horários 6, 10, 14 e 18 horas ao longo do dia de amostragem. Coletou-se amostras de conteúdo ruminal nos tempos de amostragem para quantificação de AGCC (ácidos graxos de cadeia curta), N-NH₃ (nitrogênio amoniacal) e CH₄ (metano) ruminal para contagem de protozoários e caracterização metagenômica, para a qual será confeccionado um artigo a parte.

Aferiu-se o pH ruminal de 10 em 10 minutos durante 24 horas, e o rúmen de cada animal foi esvaziado em dias alternados, sendo 0 e 3 horas após o pastejo matinal, tempos estes representando os momentos de menor e maior enchimento ruminal, respectivamente.

Para degradabilidade *in situ* incubou-se via rúmen amostras de forragem, coletadas através da simulação de pastejo, de cada tratamento para avaliação da taxa de degradação da matéria seca, proteína bruta e fibra em detergente neutro.

5.3. Delineamento experimental, sistemas de pastejo e tratamentos

Os animais experimentais foram distribuídos aleatoriamente em dez unidades de pastejo (5 tratamentos com 2 repetições). Cada tratamento alocou-se a cada unidade de pastejo em um delineamento inteiramente casualizado com um total de cinco réplicas. Os tratamentos foram compostos por cinco diferentes sistemas de pastejo e suas réplicas, como a seguir: 1) pastagens degradadas (DP); 2) pastagens de sequeiro com densidade animal moderada (DMS); 3) pastagens de sequeiro com alta taxa de lotação animal (DHS); 4) sistema de pecuária florestal com taxa de lotação animal moderada (LF); e 5) pastagem irrigada com alta taxa de lotação animal (IHS). As pastagens em DP e DMS foram ambas estabelecidas em 1996 com *Urochloa brizantha*, mas estão infestadas de *Urochloa decumbens*. O pasto em LF foi estabelecido com *Urochloa decumbens* e arborizado com espécies florestais nativas em 2008. As pastagens em IHS e DHS foram estabelecidas em 2002 com o *Megathyrsus maximus*.

As pastagens no DP foram manejadas sob taxa de lotação contínua e não foram tratadas com calagem ou fertilizadas. As pastagens em DMS, DHS, LF e IHS foram manejadas como sistemas de pastejo rotativo com três dias de ocupação e 36 dias de ciclos de descanso. Em tais sistemas (DMS, DHS, LF e IHS) foram feitas calagem e fertilização

com fósforo e potássio. Cada unidade de pastagem (réplica) em DMS e LF tem 3.3 hectares (ha) divididos em seis piquetes, manejados como um sistema rotativo, e receberam cinco aplicações de 40 kg por hectare de N-ureia durante a estação chuvosa.

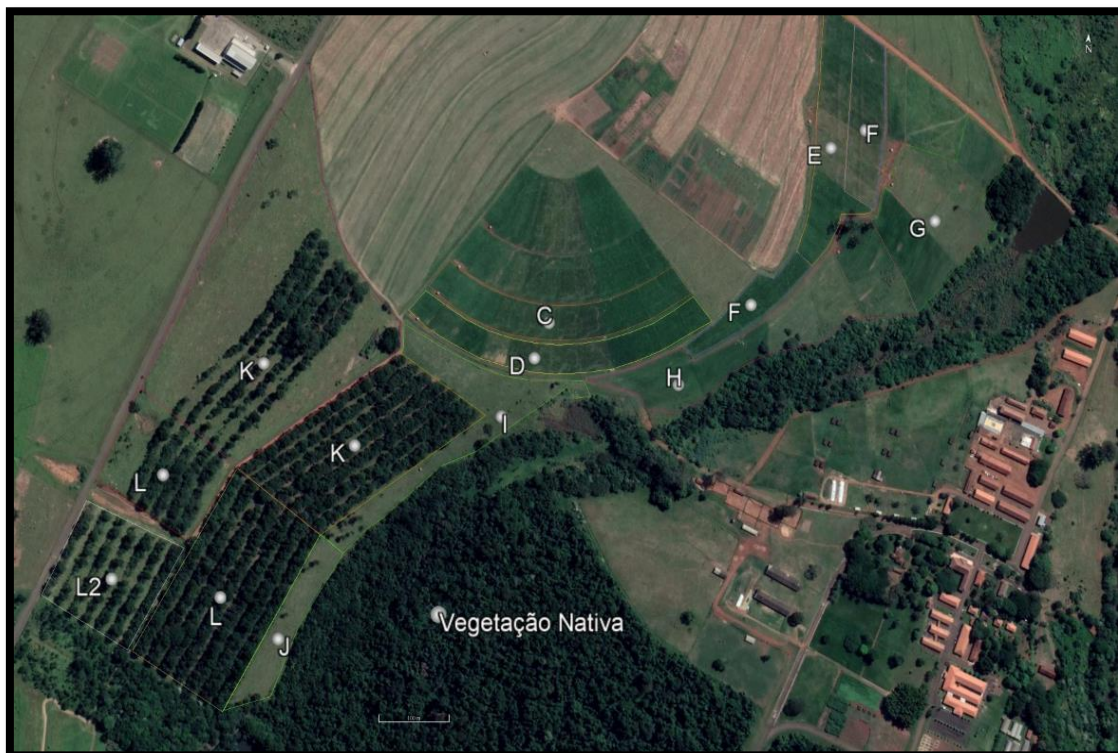
As árvores do sistema LF foram plantadas em conjuntos de três fileiras (distância entre árvores de 2,5 m x 2,5 m), distanciadas umas das outras em 17 m, resultando em 545 árvores por hectare. As espécies nativas utilizadas foram: "angico-branco" (*Anadenanthera colubrina*); "canafístula" (*Peltophorum dubium*); "ipê-felpudo" (*Zeyheria tuberculosa*); "jequitibá-branco" (*Cariniana estrellensis*) e "pau-jacaré" (*Piptadenia gonoacantha*).

Cada unidade de pastejo nos sistemas IHS e DHS possuiu 1,75 ha, divididos em 12 piquetes. No DHS, as unidades receberam cinco aplicações de 80 kg de N por hectare durante a estação chuvosa (400 kg de N-ureia por ha por ano). No IHS, as unidades receberam cinco aplicações de 80 kg de N por ha durante a estação chuvosa e cinco aplicações de 40 kg de N por hectare durante a estação seca (600 kg de N-ureia por ha por ano) e também foram semeados aveia *Avena byzantina* cv. São Carlos (60 kg de sementes por ha) e azevém *Lolium multiflorum* Lam. cv. BRS Ponteio (30 kg de sementes por ha) durante o outono para consumo no inverno. As pastagens em IHS foram irrigadas com base no balanço hídrico, método proposto por Rassini (2002).

As pastagens foram manejadas visando manter uma altura de resíduos específica para cada espécie de gramíneas, conforme recomendação de Costa e Queiroz (2013), com exceção das pastagens degradadas, nas quais somente os animais experimentais eram mantidos durante todo o ano, independentemente da altura de resíduo do pasto.

O número de animais em cada sistema e seu peso era monitorado para permitir a estimativa de taxa de lotação animal (UA por ha), média de desempenho animal (kg de ganho de peso vivo por dia) e produtividade (kg de peso vivo por ha).

Figura 3 – Foto de satélite da área experimental evidenciando os tratamentos correspondentes: C e D= IHS; E e F= DHS; G e H= DMS; I e J= DP; e K, L e L2= LF



Fonte: Lucas Menegazzo, Bolsista PIBIC

5.4. Composição nutricional da dieta, manejo e sistema alimentar

Os animais estiveram sob condições de taxa de lotação contínua ou rotacionada e alimentados com suplemento mineral proteico energético *ad libitum*. Assim, segue abaixo a composição da dieta mostrada nas tabelas 1 e 2

Tabela 1 - Composição bromatológica da qualidade das forragens por pastejo simulado e consumo de suplemento proteico-energético nos diferentes sistemas de produção avaliados durante dois anos experimentais (2019-2021)

| Estações Tratamentos | MS | PB | FDN | FDA | CNF | LIG | EE | MM | DIVMS | NDT | CMS_Forr | CMS_Suplem | CMS_Tot |
|-------------------------|-------|------|-------|-------|-------|------|------|------|-------|-------|-----------|------------|-----------|
| | % | % | % | % | % | % | % | % | % | % | kg/anim/d | kg/anim/d | kg/anim/d |
| Primavera | | | | | | | | | | | | | |
| IHS | 24,75 | 4,33 | 54,82 | 33,74 | 13,71 | 4,00 | 0,35 | 9,24 | 62,04 | 15,39 | 7,25 | 0,14 | 7,39 |
| DHS | 30,36 | 1,43 | 56,31 | 33,27 | 15,54 | 3,77 | 0,95 | 9,89 | 62,46 | 13,51 | 7,47 | 0,10 | 7,57 |
| DMS | 33,50 | 2,92 | 57,07 | 32,84 | 11,14 | 3,27 | 0,11 | 8,90 | 64,87 | 11,20 | 7,05 | 0,12 | 7,17 |
| DP | 29,77 | 1,32 | 53,61 | 32,03 | 11,59 | 3,18 | 0,54 | 9,13 | 70,82 | 18,35 | 6,92 | 0,12 | 7,05 |
| LF | 31,63 | 3,63 | 59,97 | 30,50 | 13,35 | 3,03 | 0,21 | 9,59 | 72,88 | 11,50 | 7,37 | 0,14 | 7,52 |
| Verão | | | | | | | | | | | | | |
| IHS | 22,28 | 2,46 | 54,46 | 40,70 | 13,66 | 4,15 | 0,83 | 8,76 | 61,71 | 15,66 | 8,44 | 0,16 | 8,60 |
| DHS | 25,53 | 1,10 | 55,25 | 38,53 | 15,03 | 3,90 | 0,25 | 8,98 | 64,00 | 14,73 | 8,96 | 0,18 | 9,14 |
| DMS | 21,88 | 2,58 | 54,61 | 32,29 | 13,78 | 2,08 | 0,71 | 8,80 | 74,46 | 14,44 | 8,42 | 0,24 | 8,66 |
| DP | 25,02 | 3,42 | 53,09 | 32,66 | 14,38 | 2,62 | 0,62 | 8,91 | 75,39 | 10,00 | 7,95 | 0,37 | 8,31 |
| LF | 17,94 | 5,75 | 50,66 | 32,90 | 15,26 | 2,99 | 0,29 | 9,42 | 75,80 | 19,69 | 8,47 | 0,22 | 8,69 |
| Outono | | | | | | | | | | | | | |
| IHS | 21,76 | 1,10 | 55,82 | 39,35 | 11,94 | 4,53 | 0,95 | 8,88 | 59,47 | 13,38 | 9,66 | 0,09 | 9,75 |
| DHS | 26,12 | 2,87 | 56,61 | 38,23 | 14,03 | 4,50 | 0,47 | 8,62 | 61,34 | 12,83 | 9,84 | 0,20 | 10,03 |
| DMS | 28,73 | 0,25 | 59,87 | 36,74 | 11,18 | 3,50 | 0,11 | 8,32 | 64,67 | 16,59 | 9,02 | 0,22 | 9,24 |
| DP | 35,62 | 1,07 | 57,98 | 37,97 | 11,09 | 4,26 | 0,85 | 8,57 | 62,19 | 11,61 | 7,73 | 0,27 | 8,00 |
| LF | 32,98 | 3,17 | 54,44 | 36,01 | 12,90 | 4,00 | 0,94 | 8,83 | 67,05 | 13,11 | 8,32 | 0,15 | 8,47 |
| Inverno | | | | | | | | | | | | | |
| IHS | 18,27 | 5,23 | 58,80 | 36,35 | 15,96 | 3,83 | 0,29 | 0,63 | 60,80 | 18,19 | 13,63 | 0,08 | 13,71 |
| DHS | 39,46 | 5,47 | 71,00 | 43,89 | 12,05 | 5,29 | 0,28 | 8,43 | 55,66 | 11,24 | 9,69 | 0,20 | 9,90 |
| DMS | 17,59 | 5,49 | 73,04 | 41,40 | 11,71 | 4,21 | 0,13 | 7,61 | 57,13 | 18,88 | 9,08 | 0,26 | 9,35 |
| DP | 33,99 | 5,04 | 74,98 | 46,68 | 12,92 | 5,70 | 0,38 | 7,71 | 47,65 | 11,71 | 7,02 | 0,32 | 7,34 |
| LF | 17,03 | 4,10 | 76,15 | 48,37 | 12,26 | 6,34 | 0,32 | 6,78 | 48,80 | 11,95 | 7,01 | 0,25 | 7,26 |

DP: Sistema de Pastagem Extensiva em Solo Degradado - *Urochloa. brizantha* cv. Marandu e *Urochloa decumbens* cv. Basilisk; LF: Sistema de Pastagem Intensiva Sem Irrigação em Rotação Consorciada com floresta nativa do cerrado brasileiro (sistema silvipastoril) com Moderada Taxa de Lotação - *Urochloa decumbens* cv. Basilisk; DMS: Sistema de Pastagem Intensiva sem Irrigação em Rotação com Moderada Taxa de Lotação - *Urochloa brizantha* cv. Marandu e *Urochloa decumbens* cv. Basilisk; DHS: Sistema de Pastagem Intensiva sem Irrigação em Rotação com Alta Taxa de Lotação - *Megathyrsus maximus* cv. Tanzânia; IHS: Sistema de Pastagem com Irrigação em Rotação com Alta Taxa de Lotação - *Megathyrsus. maximus* cv. Tanzânia com sobressemeadura de *Avena byzantina* e *Lolium. Multiflorum* para consumo durante o inverno. MS: matéria seca; PB: proteína bruta; FDN: fibra em detergente neutro; FDA: fibra em detergente ácido; CNF: carboidrato não fibroso; LIG: lignina; EE: extrato etéreo; MM: matéria mineral; DIVMS: digestibilidade *in vitro* da matéria seca; NDT: nutrientes digestíveis totais; CMS_Forr: consumo de matéria seca da forragem; CMS_Suplem: consumo de matéria seca do suplemento; CMS_Tot: consumo de matéria seca total (kg/animal/dia). Fonte: Lobo (2023)

Tabela 2 - Ingredientes e composição bromatológica do suplemento mineral proteico-energético

| Ingredientes (%) | Proporção (%) |
|--------------------------------------|----------------------|
| Milho Triturado | 45,0 |
| Cloreto de Sódio | 10,0 |
| Núcleo Mineral ¹ | 15,0 |
| Nitrato de Amônio ² | 30,0 |
| Composição Bromatológica | |
| Proteína Bruta (% MS) | 46,1 |
| Nutrientes Digestíveis Totais (% MS) | 60,7 |
| Carboidratos Não Fibrosos (% MS) | 21,5 |
| Fibra em Detergente Neutro (% MS) | 6,1 |
| Fibra em Detergente Ácido (% MS) | 2,3 |
| Lignina (% MS) | 0,7 |
| Matéria Mineral (% MS) | 25,3 |
| Extrato Etéreo (% MS) | 1,2 |
| Energia Bruta (MJ/ kg) | 8,8 |
| Cálcio (g/ kg) | 11,0 |
| Fósforo (g/ kg) | 11,3 |
| Magnésio (g/kg) | 0,7 |
| Enxofre (g/kg) | 12,3 |
| Potássio (g/kg) | 4,3 |
| Cobre (mg/ kg) | 124,7 |
| Manganês (mg/ kg) | 84,9 |
| Ferro (mg/ kg) | 321,4 |
| Zinco (mg/ kg) | 426,0 |

¹Núcleo mineral: quantidade por kg de produto: 240 g de Cálcio (máximo); 160 g de fósforo; 60 g de enxofre; 200 mg de cobalto; 2500 mg de cobre; 125 mg de iodo; 2250,0 mg de Manganês; 50 mg de selênio; 7500 mg de zinco; 1600 mg de flúor.

²Nitrato de amônio: fertilizante contendo fonte de N (33,5% a 34,5%), quantidade por kg de produto: 340 mg de cálcio; 20 mg de fósforo; 22,7 de enxofre; 3,2 mg de cobre; 2,4g de manganês; 2,9 mg de zinco; 2,2 mg de manganês; 40,5 mg de ferro; 140 mg de potássio.

Fonte: Adaptado de Pasquini Neto (2022)

A caracterização bromatológica das forragens, tabela 1, foi feita a partir do material coletado pela técnica de simulação de pastejo, *hand-planking*, proposta por Cook, 1994 e validada por Bonnet, Hagenah, Hebbelman, Meuret e Shrader (2011).

As amostras dos gêneros *Megathyrus* e *Urochloa* após coletadas a campo, foram levadas ao laboratório e homogeneizadas a cada amostragem, foram secas em estufa de circulação de ar forçada a 65,0 °C durante 72 horas. Posteriormente, foram trituradas em um moinho de facas tipo Willey usando peneira de 1 mm e encaminhadas ao laboratório de nutrição animal (LNA) da Embrapa Pecuária Sudeste, para a determinação dos teores de matéria seca (MS) definitiva a 105,0 °C, proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro, extrato etéreo (EE), carboidratos não fibrosos (CNF), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), lignina (LIG), matéria mineral (MM), digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS), digestibilidade *in vitro* da matéria orgânica (DIVMO), utilizando a técnica NIRS em um espectrômetro de infravermelho próximo, modelo NIRFlex N-500 Solids (BÜCHI, Flawil, São Galo, Suíça, SWI) com calibração desenvolvida e validada.

As amostras de *Avena byzantina* e *Lolium multiflorum* foram homogeneizadas a cada amostragem durante as estações outono/inverno e foram secas em estufa de circulação de ar forçada a 65,0 °C durante 72 horas. Posteriormente, foram trituradas em um moinho de facas tipo Willey usando peneira de 1 mm e encaminhadas ao LNA do da Embrapa Pecuária Sudeste, para a determinação dos teores convencionais de MS definitiva (Método 934.01; AOAC, 1990), PB (Método 920.87; AOAC, 1990), FDN, FDA e LIG conforme VAN SOEST (1970), MM (Método 923.03; AOAC, 1990), EE (Método 920.85; AOAC, 1990).

Para a determinação da DIVMS e DIVMO dos alimentos, adotou-se a técnica descrita por Tilley e Terry (1963) adaptada ao rúmen artificial, desenvolvida pela Ankon®, como descreve Holden (1999).

Os teores de carboidratos não fibrosos (CNF) (%) foram obtidos de acordo com a equação proposta por WEISS (1999), subtraindo-se de 100 as quantidades resultantes expressas em porcentagem (%) da MS do EE, do FDN, da MM e da PB eq.(1):

Equação 1

$$CNF (\% MS) = 100(\% MS) - (EE(\%) + FDN(\%) + MM(\%) + PB(\%)) \quad (1)$$

onde,

CNF: representa o teor de carboidratos não fibrosos (%);

EE: é o teor de extrato etéreo (%);

FDN: é o teor de fibra em detergente neutro (%);

MM: é o teor da matéria mineral (%); e

PB: é o teor de proteína bruta (%).

Os teores de nutrientes digestíveis totais (NDT) (%) foram obtidos também de acordo com a equação proposta por WEISS (1999) eq.(2):

Equação 2

$$NDT (\%) = PBD + FDNpD + CNFD + 2,25*EED \quad (2)$$

onde,

FDN: teor de fibra em detergente neutro digestível corrigido para proteína (%);

PBD: teor de proteína bruta digestível (%);

CNFD: carboidratos não fibrosos digestível (%);

EE: teor de extrato etéreo digestível (%);

5.5. Desempenho animal

Para a avaliação do desempenho dos animais, foram realizadas pesagens de PV total individual dos animais *testers* em cada unidade experimental, sendo: no início do experimento, em intervalos regulares de aproximadamente 28 dias após o início e no final do período experimental. A primeira e a última pesagem foram realizadas após um processo de jejum de alimentos sólidos de aproximadamente 16 horas, em que os animais foram recolhidos para um curral de manejo próximo ao experimento às 16:00 horas (BRT UTC-03:00) e pesados no dia seguinte às 08:30 horas (BRT UTC-03:00), obtendo os PV inicial e PV final (kg/ animal).

A partir destas pesagens, foram calculados os ganhos de peso (GPMD). Através das pesagens intermediárias (a cada 28 dias), foi possível ajustar as taxas de lotação (TL) das pastagens durante o experimento, pesando e inserindo os animais “reguladores”, determinar o PV e calcular os ganhos de peso médios diários (GPMD) (kg/ dia) eq.(3):

Equação 3

$$(kg/ dia) = \frac{(PV(Mês n) - PV(Mês n-1))}{(N(diasMês n) - N(diasMês n-1))} \quad (3)$$

onde,

GPMD: representa o ganho de peso médio diário dos animais (kg);

N(Mês *n*): é o dia da pesagem dos animais em determinado mês (dias);

As TL foram calculadas por duas formas: em unidade animal (UA = bovino com 450 kg de PV) (UA/ ha), para padronização entre rebanhos de diferentes sistemas de produção; e em bovino equivalente (BE - correspondente ao peso médio dos animais “testers”) (BE/ ha), para comparação entre os tratamentos do experimento, utilizando a razão do peso total do “lote” (Plote) (contendo a soma dos pesos dos animais *testers* e reguladores) pelo peso da UA ou do BE (Equações 4 e 5, respectivamente). Os valores da TL em UA ou BE foram calculados para cada intervalo mensal de pesagem dos animais e foram ajustadas de acordo com os períodos iniciais e finais de cada estação, para o cálculo da TL média de cada estação climática eq.(4):

Equação 4

$$TLUA (N^{\circ} UA/ ha) = \frac{Plote(kg)}{(UA (450 kg) hectare)} \quad (4)$$

Equação 5

$$TLBE (N^{\circ} Bovinos/ha) = \frac{Plote(kg)}{(BE (Média em kg dos animais tester) hectare)} \quad (5)$$

onde:

TLUA: constitui a taxa de lotação em unidade animal (UA) (UA/ ha);

UA: é o peso análogo a de um bovino com 450 kg;

TLBE: retrata a taxa de lotação em bovinos equivalentes (BE) (BE/ ha);

BE: é peso médio dos animais “testers” em determinado mês (kg); e

Plote: é a soma do peso do lote dos animais (contendo *testers* e “reguladores”) nas unidades experimentais em determinado mês (kg).

Ao final do experimento, os animais *testers* foram abatidos pela técnica de insensibilização, com uma pistola pneumática de penetração e sangria através da veia jugular. O abate foi fiscalizado pelo Serviço de Inspeção do Estado de São Paulo (S.I.S.P – 0830), no abatedouro escola da PUSP - FC/ USP. As carcaças foram pesadas individualmente para os cálculos de rendimento de carcaça, rendimento de cortes, rendimento de ganho de carcaça por unidade de área para correlacionar com dados de emissão de metano via SF₆; dados estes parte da tese de outro membro do grupo de pesquisa.

5.6. Simulação de pastejo (“hand-plucking”)

A coleta de amostras representativas de forragem de animais a pasto é um problema complexo, já que os animais frequentemente selecionam plantas e partes de plantas a partir de uma mistura de espécies. A seletividade do animal pode variar com a espécie animal, plantas disponíveis, estágio de maturidade da planta, intensidade do pastejo e condições climáticas (COOK, 1964).

O método *hand-plucking* envolve a coleta de material representativo da forragem sendo consumida várias vezes durante a experiência de pastejo, observando os animais pastejando a curta distância e, à mão, coleta-se a amostra simulando o bocado do animal fixado e observado por cerca de 25 minutos nos períodos da manhã ou final tarde.

Figura 4 – Animais em pastejo



Fonte: Lobo (2023)

A técnica *hand-plucking* foi validada por BONNET et al., (2011), em um estudo o qual testaram a precisão e a reprodutibilidade do método utilizando quatro observadores e duas espécies herbívoras, bovinos e caprinos. Comparou-se a massa dos bocados amostrados com a massa dos bocados colhidos naturalmente pelos animais. A relação entre as estimativas da massa dos bocados e a massa real dos mesmos foi linear e não significativamente diferente de uma relação $Y = X$. Isto significa que as estimativas individuais da massa dos bocados foram centradas nos valores reais e, portanto, os erros positivos e negativos foram cancelados quando combinados. Como resultado, as estimativas de consumo acumulado em cerca de 10 piquetes tinham precisões de mais de 95%.

5.7. Mensuração de metano entérico: técnica do gás traçador SF₆

Para a coleta de metano foi utilizada a metodologia do gás traçador hexafluoreto de enxofre (SF₆) segundo Primavesi et al. (2004) e Berndt et al. (2014). As cápsulas (tubo de permeação) foram preparadas e calibradas considerando o período de duração do experimento. Assim, as cápsulas selecionadas foram fornecidas aos animais e depositadas no rúmen com uma emissão média de SF₆ constante em torno de $2,396 \pm 0.06$ mg/dia.

Os animais foram adaptados aos aparatos de amostragem (cangas e cabrestos) por um período mínimo de 15 dias anterior à coleta. Durante o período de coleta sazonal, os animais foram retirados de seus piquetes diariamente entre 7:30 e as 8:00 horas, e conduzidos ao curral de manejo onde as amostras foram coletadas. As coletas de metano eram realizadas por 5 dias consecutivos, com troca das cangas a cada 24 horas. O gás expelido pela boca e narinas dos animais foi aspirado por um tubo capilar alojado em cabresto e conectado a um depósito de PVC (coletor) submetido a vácuo, que fica apoiado no pescoço do animal. Cada coletor teve as pressões (inicial e final) registradas para verificar a qualidade da coleta de dados de campo. Tubos coletores com pressões finais acima ou abaixo dos valores esperados foram substituídos imediatamente com repetição de mais um dia de coleta nos respectivos animais. Após cada período de coleta, as cangas foram encaminhadas para a análise cromatográfica, onde o conteúdo foi diluído com nitrogênio puro para a determinação das concentrações dos gases SF₆ e CH₄.

Durante todo o período de coleta foram mantidas cangas para coleta do “branco” em condições ambientais semelhantes à que os animais estavam submetidos. As concentrações de CH₄ e SF₆ encontradas nos “brancos” através da cromatografia foram descontadas das concentrações encontradas nas cangas dos animais. As coletas foram realizadas quatro vezes ao ano, em meses representativos da primavera, verão, outono e inverno.

Em relação à técnica de captura de metano, Della Rosa et al. (2021) avaliaram variações nos procedimentos técnicos das câmaras de respiração, SF₆ e Greenfeed Emission Monitoring System para medir CH₄ de ruminantes e concluíram que a padronização dentro e entre técnicas melhora confiabilidade dos resultados. A técnica do traçador SF₆ possui custo moderado e acima de somente a técnica *in vitro*, possuindo acurácia precisa, poucas interferências por outros gases e o animal pode se movimentar livremente (TEDESCHI et al., 2022).

5.8. Cromatografia gasosa

A análise do CH₄ e SF₆ foi feita em um cromatógrafo a gás GC-2014 “Greenhouse” (Shimadzu). As amostras contidas nas “cangas”, após preparo utilizando-se a diluição com N₂ ultrapuro (grau 5,0), foram transferidas para “loop” de amostragem com volume 100µL utilizando-se sistema de engate rápido marca Swagelock e válvula do tipo esfera. Esse cromatógrafo está equipado com os detectores FID (ionização de chama) e ECD (captura de

elétrons). Os limites de detecção informados pelo fabricante para o FID e ECD na configuração utilizada são 3pgC/s (dodecano) e 0,1 pg/s (γ -BHC) respectivamente. As faixas dinâmicas lineares para o FID e o ECD são 107 e 104 respectivamente. Foi feita a calibração por padronização externa a partir de misturas padrão certificadas (Praxair) segundo RBC-INMETRO n°M-40370/12 para os analitos CH₄, SF₆, N₂O e CO₂. As condições cromatográficas foram: temperatura das colunas 80 °C, temperatura do injetor 100 °C, temperatura do ECD 325 °C, temperatura do FID 250 °C e temperatura das duas válvulas de 4 vias 80 °C. As vazões do gás de arraste (N₂ 5,0) foram: nas colunas 24,57 mL/min, purga de 0,5 mL/min e total 25,1 mL/min. Foi utilizada ainda a mistura gasosa 10% (v/v) de CH₄ em argônio balanço a uma vazão de 0,1 mL/min com o intuito de se obter uma melhora na relação sinal/ruído do ECD. As colunas utilizadas foram: 1,0 m HayeSep T responsável pelo *backflush* (etapa que retira umidade das amostras), 4m H-D 80/100 (coluna analítica), duas colunas 1,5m P-N e uma coluna 0,5m S-Q, que também foram utilizadas para a conexão das válvulas aos detectores e metanador.

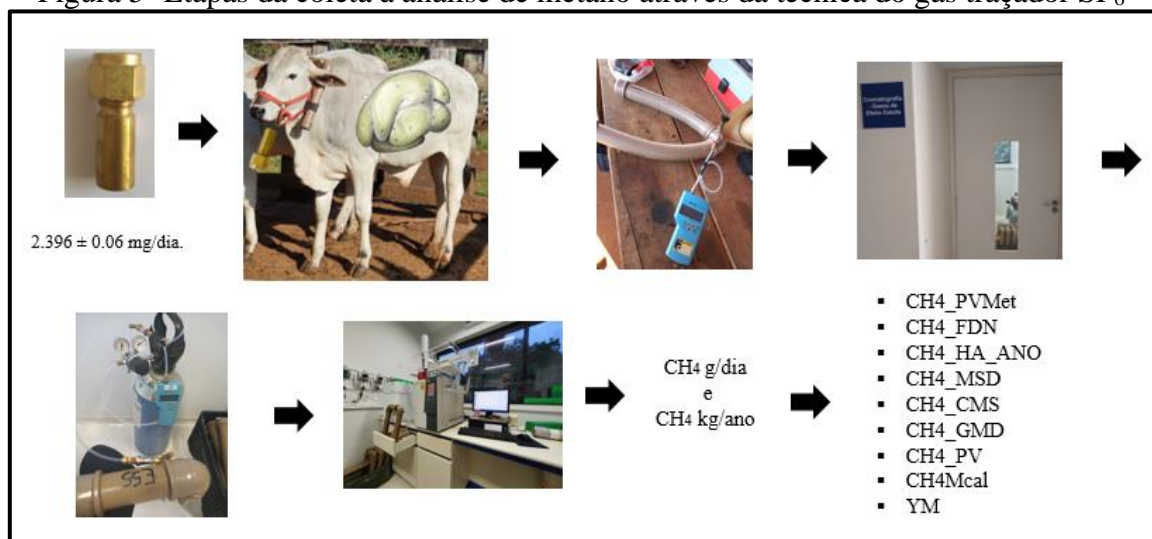
A determinação das concentrações de CH₄ e SF₆ coletadas nas cangas foi realizada, respectivamente, com detector de ionização de chama e detector de captura de elétrons. As cromatografias foram realizadas imediatamente ao final dos períodos de coleta de campo, no laboratório da Embrapa Pecuária Sudeste, possibilitando o reuso das cangas no período de coleta subsequente. As curvas de calibração foram estabelecidas utilizando os gases padrão certificados pela empresa White Martins (São Carlos, SP) com concentrações de CH₄ em ppm (5,18%, 11,1% e 22,9%) e concentrações de SF₆ em ppt (34, 100 e 1009).

5.9. Variáveis relacionadas à emissão de metano entérico

Através da análise de cromatografia, foram determinadas as emissões de metano dos animais em gramas por dia (CH₄GD) ou quilogramas por ano (CH₄KA). A partir desses valores foram calculadas as seguintes variáveis CH₄_PVMet (g/kg) - emissão de metano (g/dia) por peso vivo metabólico; CH₄_FDN (g/%) - emissão de metano (g/dia) por fibra em detergente neutro; CH₄_HA_ANO (kg/hectare/ano) - emissão de metano (g/dia) por hectare; CH₄_MSD (g/%) - emissão de metano (g/dia) por matéria seca digestível; CH₄_CMS (g/kg) - emissão de metano (g/dia) por consumo de matéria seca; CH₄_GMD (g/kg) - emissão de metano (g/dia) por ganho de peso médio diário; CH₄_PV (g/kg) - emissão de metano (g/dia) por peso vivo médio; EB_CH₄ (g/Mcal/dia) - emissão de metano em Mcal CH₄/animal/dia e

porcentagem de energia bruta ingerida perdida na forma de metano (“Yield Methane” – YM (%)).

Figura 5- Etapas da coleta à análise de metano através da técnica do gás traçador SF₆



Fonte: Lobo (2023)

5.10. Fermentação Ruminal

Diversos aditivos têm sido usados como estratégia nutricional para mitigação da emissão de metano entérico em bovinos, junto às estratégias de adubação e diferentes sistemas de pastejo, de modo a manipular a fermentação ruminal (BERNDT, 2010).

5.10.1. Produtos finais da fermentação microbiana dos carboidratos no rúmen

As produções de AGCC, CH₄ e N-NH₃ foram determinadas através da técnica ex-situ de fermentação ruminal (RODRIGUES et al., 2012; PERNA JUNIOR et al., 2017). O princípio da técnica consiste em deixar as amostras de conteúdo de rúmen dentro de frascos (micro-rúmen) incubadas em banho termostático (39 °C), simulando as condições prevalentes do rúmen (presença de microrganismos, ambiente anaeróbio, temperatura de 39°C, saliva, pH fisiológico do rúmen).

Amostras de conteúdo ruminal foram coletadas no 23º dia de cada período experimental através da cânula ruminal às 0, 4, 8, e 12 horas após o pastejo matinal. Aproximadamente 300 mL de líquido ruminal (com o uso de uma bomba de vácuo motorizada) e 300 g de conteúdo sólido (com o uso da mão) foram coletados, em cada tempo

de amostragem, de três pontos diferentes do rúmen (porção cranial, medial e caudal do saco dorsal).

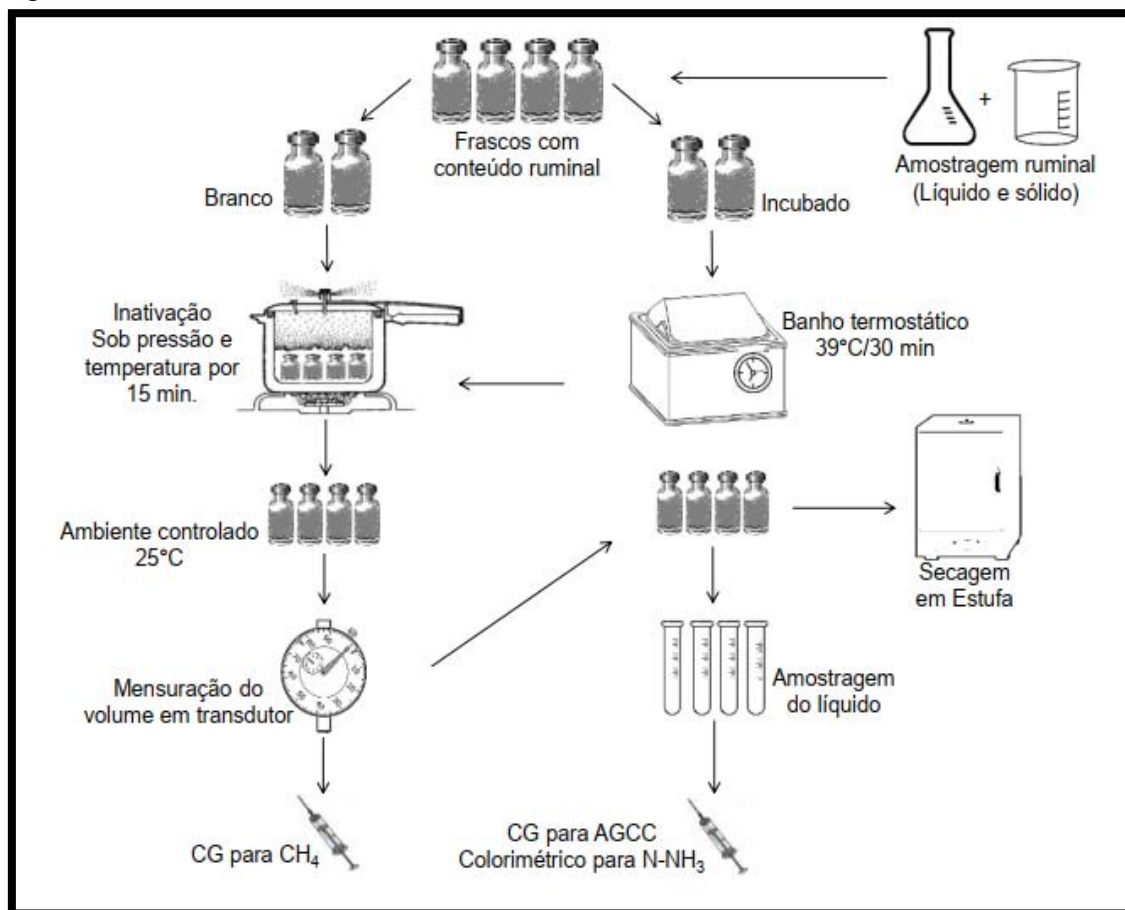
As duas frações foram misturadas e homogeneizadas na proporção de 66% de fase líquida e 33% de fase sólida. Para cada tempo, foram preparados quatro frascos (frascos de vidro transparente 49 mm x 89 mm x 20 mm, Frascolex, São Paulo, Brasil); dois frascos (representando 2 repetições) foram utilizados para incubação e outros dois (também representando 2 repetições) foram utilizados como brancos. As frações misturadas e homogeneizadas do rúmen (30 mL) foram pressionadas através de um funil em cada frasco de 50 mL de capacidade. Após, os frascos foram vedados com rolhas de borracha e selados com lacres de alumínio. Então foram lavados com CO₂ por meio de agulhas para entrada e saída, a fim de garantir um ambiente anaeróbico. Após 30 minutos de incubação para os frascos incubados e imediatamente após o enchimento dos frascos brancos, as fermentações foram inativadas sob pressão e temperatura durante 15 minutos (Figura 5). As medições do volume total de CH₄ produzido nos frascos incubados e não incubados (branco) foram feitas com um transdutor de pressão (Datalogger Universal AG5000, Gênese SM®, Barueri, SP, Brasil) conectado a uma seringa com agulha. O volume de gás foi obtido tomando a soma entre o volume obtido no transdutor mais o espaço do *head space*.

A determinação da concentração de CH₄ foi realizada por cromatografia gasosa (Trace 1300, Thermo Fisher Scientific®, Rodano, Milão, Itália), injetando-se 0.5 mL de gás de cada frasco em um ambiente com temperatura controlada (25°C), de acordo com Kaminski et al. (2003). O volume de líquido dentro dos frascos incubados e não incubados foi calculado como a diferença entre o peso dos frascos com amostras, após a secagem em estufa a 105 °C com circulação forçada de ar durante 24 horas, e o peso antes da estufa. O teor de sólidos dos frascos foi obtido pela diferença de peso entre o frasco contendo a amostra após a secagem em estufa e o peso do frasco vazio (antes do enchimento com amostra de conteúdo ruminal). Para as análises de AGCC (acetato, propionato e butirato) uma fração do conteúdo ruminal de cada frasco foi centrifugada a 2.000 × g durante 20 minutos. Em seguida, uma alíquota de 2,0 mL foi retirada do sobrenadante e 0,4 mL de ácido fórmico foram adicionados, sendo congelados a -20°C para posterior análise, de acordo com Erwin et al. (1961).

Os AGCC foram mensurados por cromatografia gasosa (Focus GC, Thermo Scientific®, Rodano, Milão, Itália) usando uma coluna de vidro com 1,22 m de

comprimento e 0,63 cm de diâmetro, embalada com 80/120 Carbopack B-DA / 4% (Supelco, Sigma-Aldrich®, St. Louis, MO, EUA).

Figura 6 - Técnica ex-situ



Fonte: Perna Junior et al. (2017)

As quantificações das produções de CH₄ e AGCC foram obtidas subtraindo-se a produção nos frascos incubados dos frascos não incubados, através das seguintes fórmulas eq (6):

Equação 6

$$\text{Prod. CH}_4 = (\text{Conc. CH}_4 \times \text{Vol. Total Gás})_{T_{30}} - (\text{Conc. CH}_4 \times \text{Vol. Total Gás})_{T_0}, \quad (6)$$

onde:

Prod. CH₄ = Produção de CH₄ no momento entre a injeção do conteúdo ruminal no frasco e a inativação;

Conc. CH₄ = Concentração de CH₄ (mmol/mL);

Vol. Total Gás = Volume total de gás obtido pela somatória do volume determinado pelo transdutor de pressão e do *head space* (mL);

T₃₀ = Tempo de incubação de 30 min;

T₀ = Tempo de incubação de 0 min (frasco branco). eq.(7):

Equação 7

$$\text{Prod. AGCC} = (\text{Conc. AGCC} \times \text{Vol. Total Liq.})_{T_{30}} - (\text{Conc. AGCC} \times \text{Vol. Total Liq.})_{T_0}, (7)$$

onde:

Prod. AGCC = Produção de AGCC no momento entre a injeção do conteúdo ruminal no frasco e a inativação;

Conc. AGCC = Concentração de AGCC (mmol/mL);

Vol. Total Liq.: Volume total de líquido do frasco obtido pela diferença de peso antes e depois da secagem em estufa (mL);

T₃₀ = Tempo de incubação de 30 min;

T₀ = Tempo de incubação de 0 min (frasco branco).

Posteriormente, as produções de CH₄ e AGCC foram expressas com base no conteúdo sólido incubado nos frascos (gramas ou quilogramas). Após a quantificação dos produtos da fermentação (CH₄ e AGCC), cada produto foi multiplicado pelo seu calor de combustão, a fim de se expressar a produção de CH₄ em porcentagem da energia oriunda da fermentação produzida. Assim, a perda de energia relativa (PER) foi a razão entre a energia contida no CH₄ produzido e a somatória da energia contida em todos os produtos da fermentação quantificados (CH₄ e AGCC), expressa em porcentagem. Para isso, valores químicos teóricos do calor de combustão foram utilizados, assumindo que o acetato, o propionato, o butirato, o CH₄ e o CO₂ apresentam 3,49; 4,98; 5,96; 13,16 e 0,0 kcal por grama ou 209,40; 368,52; 524,48; 210,56 e 0,0 kcal por mol, respectivamente. A PER foi calculada utilizando-se a seguinte fórmula (RODRIGUES et al., 2012) eq.(8):

Equação 8

$$\text{PER (\%)} = \frac{\varepsilon\text{CH}_4}{\varepsilon\text{CH}_4 + \varepsilon\text{C}_2 + \varepsilon\text{C}_3 + \varepsilon\text{C}_4} \quad (8)$$

onde:

PER = Perda Relativa de Energia (%); εCH_4 = energia do metano (kcal/g ou kcal/mol); εC_2 = energia do acetato (kcal/g ou kcal/mol); εC_3 = energia do propionato (kcal/g ou kcal/mol); εC_4 = energia do butirato (kcal/g ou kcal/mol).

Para a determinação das concentrações de N-NH₃, foram retirados 2,0 mL da amostra centrifugada de cada frasco e adicionado 1 mL de solução H₂SO₄ 1N, posteriormente os tubos foram congelados a -20 °C até o momento das análises por colorimetria, de acordo com o método descrito por Kulasek (1972) e adaptado por Foldager (1977). O balanço foi obtido pela diferença da concentração de N-NH₃ do frasco incubado por 30 min do frasco não incubado (branco). Com este procedimento é possível avaliar se o equilíbrio da produção de amônia no rúmen é positivo ou negativo. Para uma melhor compreensão e interpretação os dados de balanço foram estimados por hora, de acordo com a seguinte fórmula eq.(9):

Equação 9

$$\text{Balanço de N-NH}_3 \text{ (mg/dL.h)} = (\text{Conc. 30 min (mg/dL)} - \text{Conc. 0 min (mg/dL)}) \times 2, \quad (9)$$

onde:

Conc. 30 min = Concentração de N-NH₃ dos frascos incubados por 30 min; Conc. 0 min = Concentração de N-NH₃ dos frascos incubados por 0 min (branco).

5.10.2. Mensuração contínua do pH ruminal

O pH ruminal foi mensurado continuamente na semana de coletas em nível ruminal de cada estação do ano durante 24 horas usando um data logger (modelo T7-1 LRCpH,

Dascor®, Escondido, CA, EUA) (PENNER et al., 2006). O sistema é composto por uma probe de pH protegida por uma cápsula e por um eletrodo protegido por uma estrutura vazada, permitindo que o líquido ruminal percole livremente, mas impedindo que o eletrodo entrasse em contato com o epitélio ruminal. Pesos foram anexados a cada probe para garantir que elas permanecessem no saco ventral do rúmen.

O *data logger* foi programado para mensurar e registrar o pH ruminal a cada 10 minutos durante o período de medição. Cada eletrodo foi calibrado usando soluções padrão de pH 4,0 e 7,0 no início e no final de cada sessão. A área sob a curva foi calculada multiplicando-se o valor absoluto dos desvios no pH pelo tempo (min) gasto abaixo do limite estabelecido para cada medida, e foi então dividida por 60 e expressa como unidade de pH × hora (MOYA, et. al, 2011). Os dados de pH foram registrados como pH máximo, médio, mínimo, área da curva e a duração do tempo em que o pH esteve abaixo de 7,0; 6,6 e 6,4.

5.10.3. Caracterização microbiana do ecossistema ruminal

A caracterização microbiana do ecossistema ruminal foi feita através da contagem bacteriana de metagenômicos e protozoários. Para a contagem total e diferencial de protozoários ruminais, foram coletadas amostras nos mesmos tempos de fermentação: 0, 4, 8 e 12 horas da semana de coletas sazonais em nível ruminal. Para identificação de protozoários (gênero *Isotricha*, *Dasytricha*, *Entodinium* e subfamília *Diplodiniinae*) usando uma câmara de contagem Neubauer e uma microscopia óptica, de acordo com Dehority (1993). A determinação da diversidade filogenética de Eubactérias e Arqueas metanogênicas pela técnica PCR foi realizada em amostras de conteúdo ruminal nos mesmos tempos de fermentação: 0, 4, 8 e 12 horas da semana de coletas sazonais em nível ruminal, com separação de bactérias associadas sólidas e líquidas, de acordo com a técnica proposta por Martin et al. (1994). A extração de DNA genômico foi realizada de acordo com a metodologia proposta por Hensiek et al. (1992) e as sequências serão analisadas usando a Ferramenta Básica de Busca de Alinhamento Local (BLAST) (Altschul, 1997), porém estas serão inclusas em um artigo único, fora da tese.

5.11. Partição de energia

O consumo diário de energia bruta (CEB) foi calculado pela multiplicação do CMS (kg) e da EB da dieta (Mcal/kg). Para calcular a liberação de energia de acetato, propionato, butirato e CH₄ no rúmen (Mcal/animal.dia), as produções desses metabólitos (g/kg.dia) foram multiplicadas pelo seu calor de combustão (Mcal/g) e, em seguida, multiplicado pela quantidade de massa sólida ruminal (kg), respectivamente.

A liberação de energia no rúmen, quando expressa em % do CEB ou % de energia digestível (ED), foi obtida dividindo-se a liberação de acetato, propionato, butirato e CH₄ (Mcal/animal.d) pelo CEB ou pela ED e, em seguida, multiplicando por 100.

A liberação de CH₄ no ceco e no cólon (CC) foi considerada como 5% da liberação total de CH₄. De acordo com Dini et al. (2012), o CH₄ entérico é produzido principalmente no rúmen (95%) e, em menor quantidade (5%), no intestino grosso. Portanto, a liberação de energia no intestino foi calculada de acordo com a eq.(10):

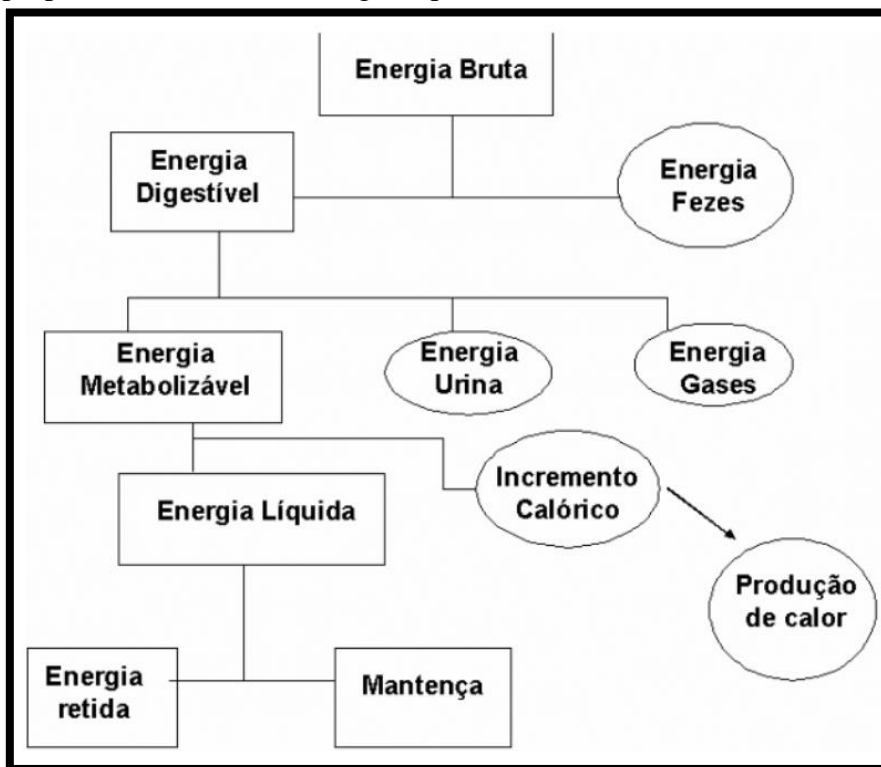
Equação 10

$$ELI = CEB - (\varepsilon C_2 + \varepsilon C_3 + \varepsilon C_4 + EB \text{ fezes} + CC \text{ CH}_4) \quad (10)$$

onde:

ELI: energia liberada no intestino (Mcal/animal.dia); CEB: consume de energia bruta (Mcal/animal.dia); εC_2 : energia do acetato (Mcal/animal.dia); εC_3 : energia do propionato (Mcal/animal.dia); εC_4 : energia do butirato (Mcal/animal.dia); EB fezes: energia liberada nas fezes (Mcal/animal.dia); CC CH₄: metano liberado no ceco e cólon (Mcal/animal.dia).

Figura 7 - Partição de energia do alimento em ruminantes conforme proposta do sistema de energia líquida



Fonte: Berchielli et al. (2011).

5.12. Cinética ruminal

O estudo da cinética ruminal foi realizado utilizando-se as técnicas de dinâmica ruminal, para determinação da taxa de desaparecimento ruminal da MS (Kt), e da degradabilidade ruminal *in situ*, para determinação da taxa de digestão ruminal da MS (Kd). A taxa de passagem ruminal da MS (Kp) foi calculada pela diferença entre a Kt e a Kd.

5.12.1. Dinâmica ruminal

A dinâmica ruminal foi avaliada pelo esvaziamento total do rúmen. A digesta ruminal foi removida manualmente através da cânula ruminal de cada vaca, conforme descrito por Dado e Allen (1995). O esvaziamento foi realizado às 11:00, ou seja, quando o rúmen estava, teoricamente, repleto. O mesmo procedimento foi realizado no dia seguinte às 8:00, quando o rúmen estava, teoricamente, com seu menor volume (PERNA JUNIOR, 2018).

Durante a retirada do conteúdo ruminal, as fases líquida e sólida foram separadas com auxílio de peneira de 2 mm e balde, e posteriormente foram pesadas, homogeneizadas,

para coleta de amostras de 1 kg de cada fase. Imediatamente depois, a digesta foi reconstituída e devolvida ao rúmen. A MS do conteúdo ruminal e a Kt foram calculadas com base no peso seco de cada amostra (55°C durante 72 horas). Quando o consumo é estável, a Kt do alimento ou de uma fração alimentar equivale à sua taxa de ingestão (ROBINSON; TAMMINGA e VAN VUUREN, 1987), portanto, a Kt foi estimada usando a fórmula eq.(11) e (12):

Equação 11

$$Kt (\%/h) = 100 \times \left(\frac{CMS \text{ diário } (kg)}{MS \text{ do conteúdo ruminal } (kg)} \right) / 24 \quad (11)$$

Equação 12

$$Kt (kg/h) = MS \text{ do conteúdo ruminal } (kg) \times \left(\frac{Kt (\%/h)}{100} \right) \quad (12)$$

5.12.2. Degradabilidade Ruminal in situ

A técnica consiste em determinar o desaparecimento da MS dos alimentos e suas frações (proteína bruta e fibra em detergente neutro) quando incubados em sacos de náilon no interior do rúmen por um determinado tempo, que pode variar de 0 a 96 horas, como proposto por Mehrez e Ørskov (1977), atendendo às recomendações descritas por Nocek (1988), utilizando-se bolsas de tecido náilon, com poros de 50 µm, nas dimensões de 10 x 20 cm. Para a incubação foi utilizada a dieta total experimental, pré-secas em estufa a 55 °C, moídas em peneiras com crivos de 2 mm e colocadas em sacos de náilon na quantidade de, aproximadamente, 9,0 g de MS por saco (PERNA JUNIOR, 2017).

Os períodos de incubação corresponderam aos tempos de 0, 8, 16, 24, 48, 72 e 96 horas durante o período de coletas em cada estação do ano, sendo os sacos colocados e retirados em tempos diferentes (BUENO, 2003). Após retirados do rúmen, os sacos foram imediatamente imersos em água fria e lavados, manualmente, em água corrente, até que esta escorresse límpida. Posteriormente, foram secos em estufa de ventilação forçada de ar a 55

°C por 72 horas. Logo depois, foram pesados para determinação da taxa de desaparecimento da MS no rúmen. As análises bromatológicas de PB foram avaliadas segundo a AOAC (1995) e as de FDN segundo Van Soest, Robertson e Lewis (1991).

Os dados de degradabilidade *in situ* da MS foram obtidos pela diferença de peso encontrada entre as pesagens efetuadas antes e depois da incubação ruminal, e expressos em porcentagem. A degradabilidade potencial foi calculada de acordo com o modelo de Ørskov e McDonald (1979) com o auxílio do procedimento NLIN do SAS (versão 9.4), sendo: $p = a + b(1 - e^{-ct})$.

Para a degradabilidade real (DR) foi utilizado o modelo: $DR = a + (bc)/(c + k)$, em que k é a taxa de passagem de partículas no rúmen (ØRSKOV, HOVEL e MOULD, 1980). A degradabilidade real (DR) da FDN e da PB foi estimada levando-se em consideração a K_p da MS, obtida indiretamente pela fórmula: $K_p = K_t - K_d$.

O desenvolvimento da técnica *in situ* teve como primeiro objetivo fornecer uma avaliação dinâmica da degradação das proteínas (Mehrez e Ørskov, 1977; Ørskov e McDonald, 1979). As características da curva de degradação são descritas pela eq.(13):

Equação 13

$$P = a + b(1 - e^{-ct}) \quad (13)$$

onde:

P é a fração potencialmente solúvel “*washing loss*”, $a + b$ representa a degradabilidade potencial. Para a proteína, a interceptão, a , é semelhante à fração solúvel (*washing loss*); b representa a potencial degradabilidade.

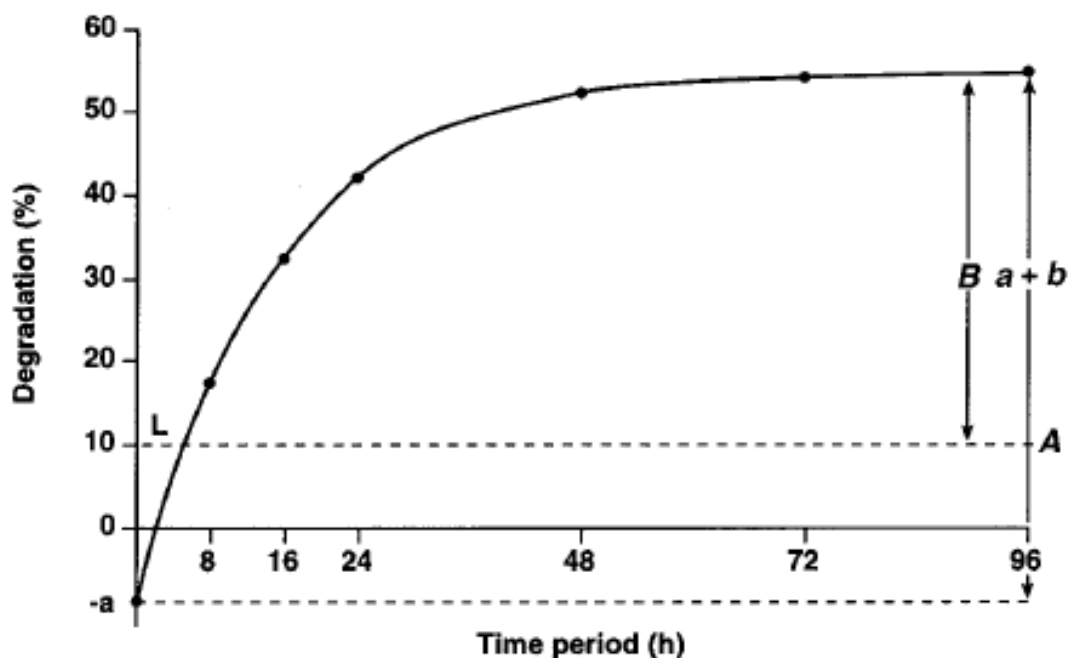
A técnica *in situ* para estimar a degradabilidade no rúmen não é nova. Foi descrita pela primeira vez por Quin et al. (1938), que usaram sacos de seda, e foi novamente empregada pela McAnally (1942). Entretanto, a padronização e validação só ocorreram recentemente. A incubação frequentemente prosseguiu por um período máximo de 48 h, e a escolha desta época foi provavelmente influenciada pelo método de digestibilidade *in vitro* de Tilley e Terry (1963), que usaram este intervalo para refletir o tempo de retenção *in vivo*

para fibra e a taxa de passagem fracionada sólida de sólidos ruminais, cerca de 0,025 a 0,030 h⁻¹.

A fim de descrever o valor das fibras usadas na alimentação, portanto, Ørskov e Ryle (1990) desenvolveu outro sistema, no qual a fração solúvel da amostra é determinada no laboratório. O método pode utilizar a fração solúvel da fibra em detergente neutro (FDN), a perda após a lavagem com soluções tampão ou a lavagem perda de um saco de nylon contendo substrato que não foi incubado no rúmen.

Como A representa a fração solúvel, a fração insolúvel, mas fermentável B é trabalhado como $(a + b) - A$, com c como taxa constante (ver Gráfico 1). Particular atenção deve ser dada à escolha dos tempos de incubação. Idealmente, nenhuma amostra deve ser retirada do rúmen antes do *lag-time*, normalmente não antes das 8 h de incubação. Se os sacos forem retirados mais cedo, a curva é distorcida e o desvio padrão residual aumenta. A outra regra é que a assíntota deve ser claramente identificada. Isto é necessário para uma descrição precisa tanto de B quanto de c . Isto é conseguido assegurando que as diferenças de degradabilidade entre os últimos dois tempos de incubação seja pequeno (menos de 10% do segundo para a última incubação). As bolsas têm que ser incubadas por até 120 h para descrever a assíntota claramente, mas geralmente 72 ou 96 h são suficientes (Ørskov e McDonald, 1979).

Figura 8 - Degradação de uma dieta rica em volumoso expressa pela fórmula $P = a + b(1 - e^{-ct})$. Devido ao lag-time (L), a é negativo. A é a fração solúvel, B a fração insolúvel, mas potencialmente fermentescível ($B = (a + b) - A$) e c a taxa constante de d



Fonte: Ørskov e McDonald (1979)

Alguma padronização da fermentação microbiana no animal utilizado para a incubação tem de ser alcançada para garantir que as condições ruminais sejam as melhores para celulólise. Isto é melhor alcançado alimentando os animais com uma dieta de alimentos grosseiros com cerca de 25 g de nitrogênio (N) kg^{-1} de matéria seca digestível (Ørskov, 1992), o que significa que, se a digestibilidade for de 60%, a dieta contém 15 g de N ou 90-100 g de proteína bruta kg^{-1} , e com pH ruminal acima de 6,2 (Mould e Ørskov, 1984).

6. Análise estatística

As unidades de pastejo foram consideradas unidades experimentais para os dados obtidos por área, e animais unidades experimentais para os dados obtidos por animal.

Os dados foram analisados estatisticamente usando o SAS 9.4 (SAS Institute Inc., Cary, NC, EUA). Antes da análise real, os dados foram avaliados quanto à presença de informações díspares ("outliers") e normalidade dos resíduos (Shapiro-Wilk). Quando a suposição de normalidade não foi aceita, a transformação logarítmica ou raiz quadrada foi testada.

Os dados foram analisados de acordo com o procedimento misto (PROC MIXED), no qual as estações do ano foram consideradas como variável repetida (parcela dividida no tempo). Entre as 15 diferentes estruturas de covariâncias testadas, a escolhida foi baseada no menor valor da Corrected Akaike Information Criterion (AICC) para correção do tamanho amostral (WANG e GOONEWARDENE, 2004).

O modelo inclui o efeito do tratamento (cinco sistemas de pastejo), estações do ano (primavera, verão, outono e inverno) e a interação entre tratamento e estações do ano como efeito fixo e ano foi considerado efeito aleatório. Dentro da presença de interação, os efeitos de um fator dentro do outro foram avaliados usando o comando SLICE de Procedimento Misto. Todas as médias foram apresentadas como médias de mínimos quadrados e os efeitos dos tratamentos foram separados pela opção PDIF do SAS. Os efeitos foram considerados significativos em $P \leq 0,05$ pelo teste LSD de Fisher.

$$\text{Modelo Estatístico: } Y_{ijk} = \mu + A_i + T_j + E_k + (T^*E)_{jk} + e_{ijk}$$

onde,

Y_{ijk} = Resposta Experimental

μ = constante

A_i = efeito de ano

T_j = Efeito de tratamento

E_k = Efeito de estação

$(T^*E)_{jk}$ = Efeito de interação entre tratamento e estação

e_{ijk} = erro aleatório

7. Resultados

Os resultados de cinética e dinâmica ruminal estão mostrados na Tabela 3. O consumo de matéria seca e peso vivo médio dos animais experimentais foi maior no ano 2 ($P < 0,0001$). Quanto a massa de sólido em relação ao peso vivo foi maior nos animais do primeiro ano de estudo, e massa total em relação ao peso vivo foi maior no segundo ano (Tabela 3).

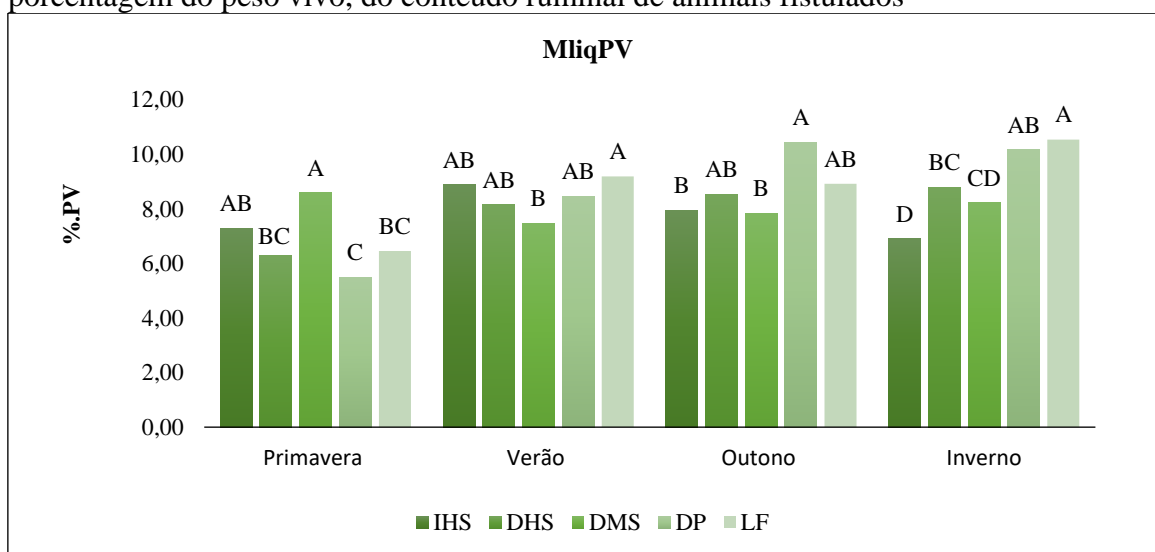
Tabela 3 - Cinética Ruminal: dinâmica ruminal avaliada pelo esvaziamento total do rúmen de animais fistulados durante dois anos experimentais (2019-2021)

| Tratamentos | Estação | Ano | CMS | CMS_PV | PVm | MliqPV | MsolPV | MTotPV | Mtot | MS conteúdo |
|-----------------------------|--------------------|-----|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|-------------|
| | | | kg | %PV | kg | %.PV | %.PV | %.PV | kg | kg |
| IHS | | | 11,07 | 1,93 | 574,13 | 7,76 | 1,02 | 8,79 | 50,14 | 11,76 |
| DHS | | | 8,94 | 1,80 | 497,19 | 7,94 | 1,12 | 9,06 | 44,92 | 12,38 |
| DMS | | | 9,87 | 1,73 | 569,81 | 8,03 | 1,07 | 9,14 | 51,60 | 12,14 |
| DP | | | 9,53 | 1,79 | 531,88 | 8,64 | 1,29 | 9,93 | 51,84 | 12,89 |
| LF | | | 9,97 | 1,85 | 537,98 | 8,78 | 1,32 | 10,17 | 52,45 | 13,15 |
| | Primavera | | 9,43 | 1,86 | 507,13 | 6,83 | 0,89 | 7,76 | 38,74 | 12,09 |
| | Verão | | 9,92 | 1,88 | 527,30 | 8,43 | 1,08 | 9,51 | 49,56 | 11,36 |
| | Outono | | 10,18 | 1,81 | 563,05 | 8,74 | 1,26 | 10,05 | 55,13 | 12,96 |
| | Inverno | | 9,97 | 1,75 | 571,30 | 8,92 | 1,43 | 10,35 | 57,34 | 13,44 |
| | | 1 | 8,85 | 1,84 | 481,67 | 8,83 | 1,16 | 10,25 | 47,51 | 12,46 |
| | | 2 | 10,90 | 1,81 | 602,72 | 7,63 | 1,17 | 8,58 | 52,88 | 12,46 |
| | EPM | | 0,22 | 0,02 | 10,70 | 0,21 | 0,04 | 0,25 | 1,22 | 0,21 |
| | Média | | 9,80 | 1,82 | 546,56 | 8,23 | 1,17 | 9,42 | 50,19 | 12,46 |
| Probabilidades Estatísticas | | | | | | | | | | |
| | Tratamento | | 0,065 | <0,0001 | 0,109 | 0,348 | 0,147 | 0,147 | 0,016 | 0,132 |
| | Estação | | 0,003 | <0,0001 | <,0001 | <,0001 | <,0001 | <,0001 | <,0001 | <,0001 |
| | Ano | | <,0001 | 0,166 | <,0001 | 0,001 | 0,827 | <,0001 | 0,001 | 0,998 |
| | Tratamento*Estação | | <,0001 | <,0001 | <,0001 | <,0001 | 0,003 | <,0001 | 0,006 | 0,011 |

DP: Sistema de Pastagem Extensiva em Solo Degradado - *Urochloa. brizantha* cv. Marandu e *Urochloa decumbens* cv. Basilisk; LF: Sistema de Pastagem Intensiva Sem Irrigação em Rotação Consorciada com floresta nativa do cerrado brasileiro (sistema silvipastoril) com Moderada Taxa de Lotação - *Urochloa decumbens* cv. Basilisk; DMS: Sistema de Pastagem Intensiva sem Irrigação em Rotação com Moderada Taxa de Lotação - *Urochloa brizantha* cv. Marandu e *Urochloa decumbens* cv. Basilisk; DHS: Sistema de Pastagem Intensiva sem Irrigação em Rotação com Alta Taxa de Lotação - *Megathyrus maximus* cv. Tanzânia; IHS: Sistema de Pastagem com Irrigação em Rotação com Alta Taxa de Lotação - *Megathyrus. maximus* cv. Tanzânia com sobressemeadura de *Avena byzantina* e *Lolium. Multiflorum* para consumo durante o inverno. Primavera: 23/09 a 21/12; Verão 2020: 22/12 a 19/03; Outono 2020: 20/03 a 20/06; Inverno 2020: 20/06 a 22/09. Ano 1: 2019-2020; Ano 2: 2020-2021. EPM: erro padrão da média; CMS: consumo de matéria seca; CMS_PV: Consumo de matéria seca em porcentagem do peso vivo; PVm: Peso vivo médio; MliqPV: massa ruminal líquida, em porcentagem do peso vivo; MsolPV: massa ruminal sólida, em porcentagem do peso vivo; MTotPV: massa ruminal total, em porcentagem do peso vivo; Mtot: Massa ruminal total; MS conteúdo: Matéria seca do conteúdo ruminal. Fonte: Lobo (2023)

A massa líquida ruminal em relação ao peso vivo (PV) animal, em %.PV sofreu efeito de tratamento dentro das estações, na primavera o tratamento DMS (8,60) se destacou por ter a maior massa líquida ruminal em relação ao demais, seguido do tratamento IHS (7,30) e a menor massa foi observada nos demais tratamentos. No verão, apenas os tratamentos DMS (7,48) e LF (9,19) se diferem, sendo a maior porcentagem de massa líquida em relação ao PV no tratamento LF. No outono, os tratamentos DMS (7,83) e IHS (7,95) se diferiram do DP (10,45). No inverno, apenas os tratamentos DHS (8,79) e DP (10,16) não diferem entre si (Gráfico 1).

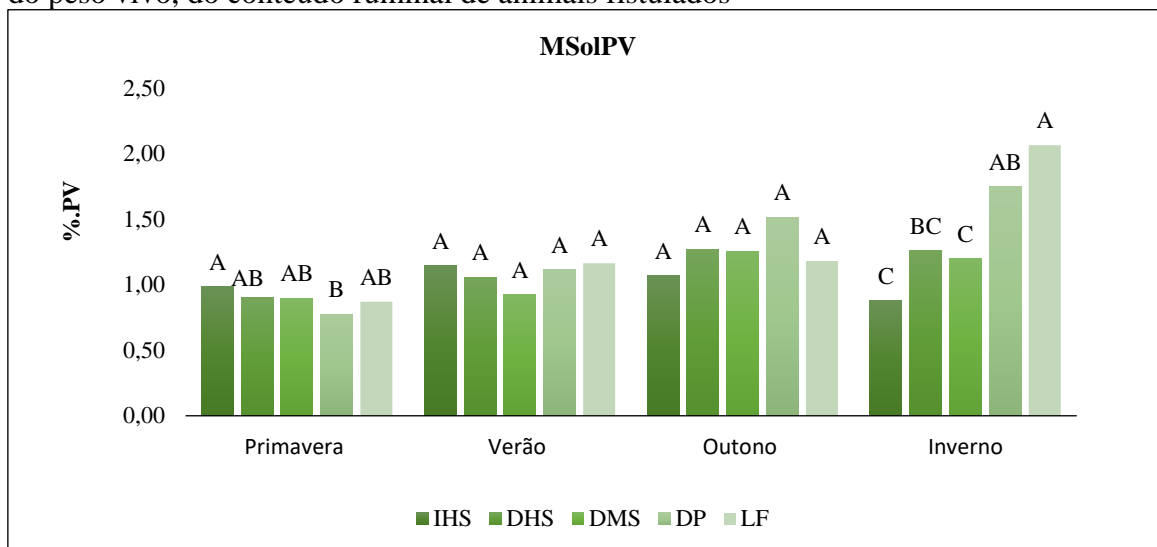
Gráfico 1 - Interação entre tratamento e estação: massa ruminal líquida, em porcentagem do peso vivo, do conteúdo ruminal de animais fistulados



Fonte: Lobo (2023)

A massa sólida ruminal em relação ao PV animal, sofreu efeito de tratamento dentro das estações, na primavera os tratamentos DHS (0,90) e DP (0,78) são diferentes entre si. No verão e outono, os tratamentos são iguais. No inverno, os tratamentos DP (1,75) e LF (2,07) (alta % de massa sólida em relação ao PV); DMS (1,20) e IHS (0,88) (baixa % de massa sólida em relação ao PV) foram iguais, e DHS (1,26) diferiu-se de todos os tratamentos (média % de massa sólida em relação ao PV) (Gráfico 2).

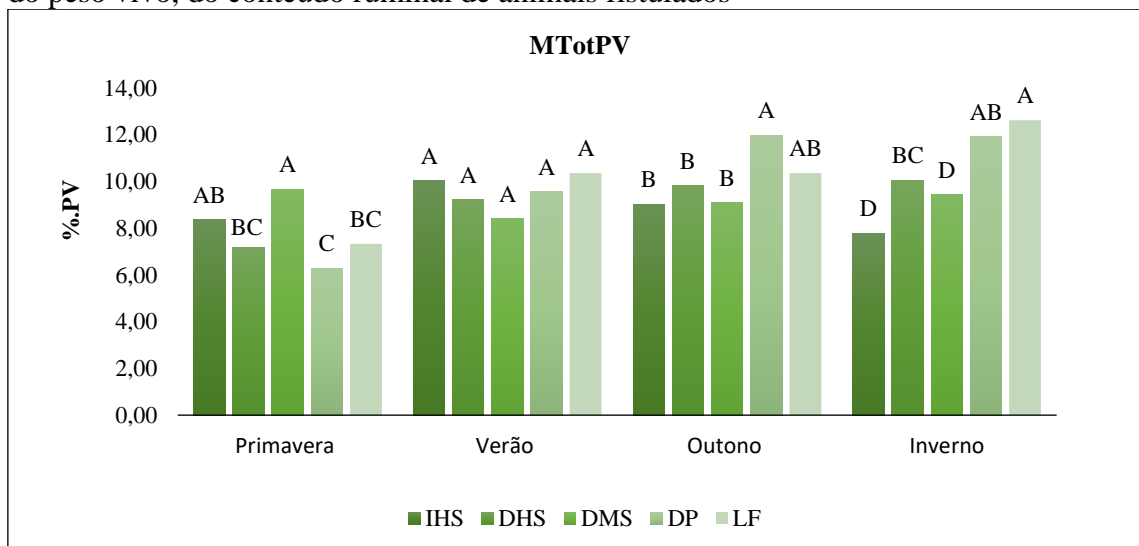
Gráfico 2 - Interação entre tratamento e estação: massa ruminal sólida, em porcentagem do peso vivo, do conteúdo ruminal de animais fistulados



Fonte: Lobo (2023)

Observa-se que, na primavera os animais dos tratamentos DMS (9,66) e IHS (8,35) tiveram uma maior massa de conteúdo ruminal em relação aos animais dos demais tratamentos. No verão, os tratamentos não se diferenciaram. No outono, o tratamento DP (11,96) foi distinto em relação aos demais. No inverno, o tratamento LF (12,61) se destaca em comparação aos demais com maior percentual de conteúdo ruminal em relação ao PV (Gráfico 3).

Gráfico 3 - Interação entre tratamento e estação: massa ruminal total, em porcentagem do peso vivo, do conteúdo ruminal de animais fistulados

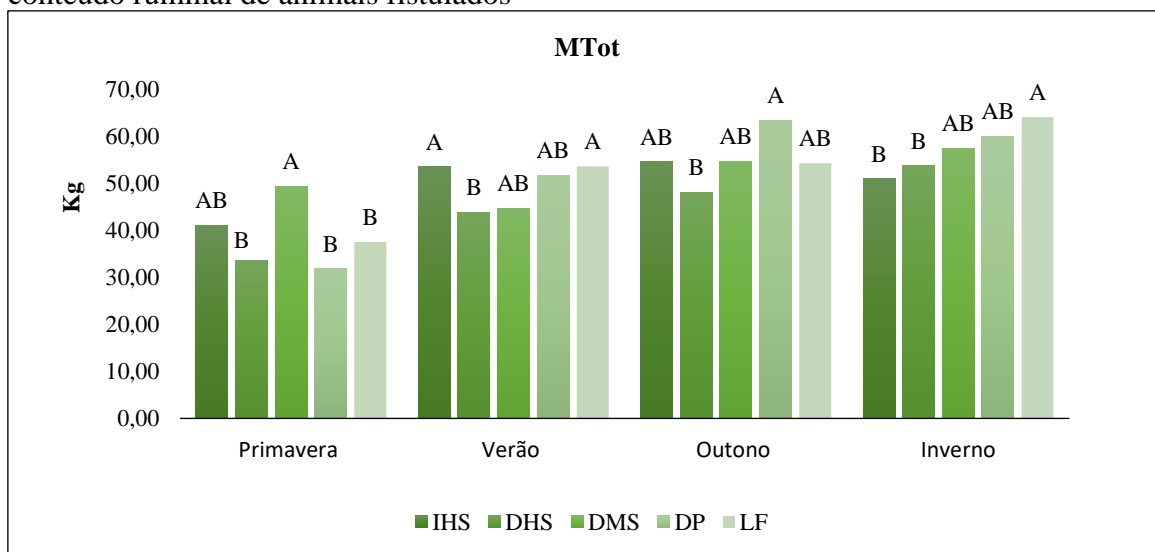


Fonte: Lobo (2023)

Os animais do tratamento LF no inverno tiveram o peso de conteúdo ruminal maior (64,18 kg) comparado aos demais tratamentos nas diferentes estações. Em

contrapartida, o tratamento DP (31,86 kg) apresentou a massa ruminal menor na primavera em relação a todos os tratamentos e todas as estações (Gráfico 4).

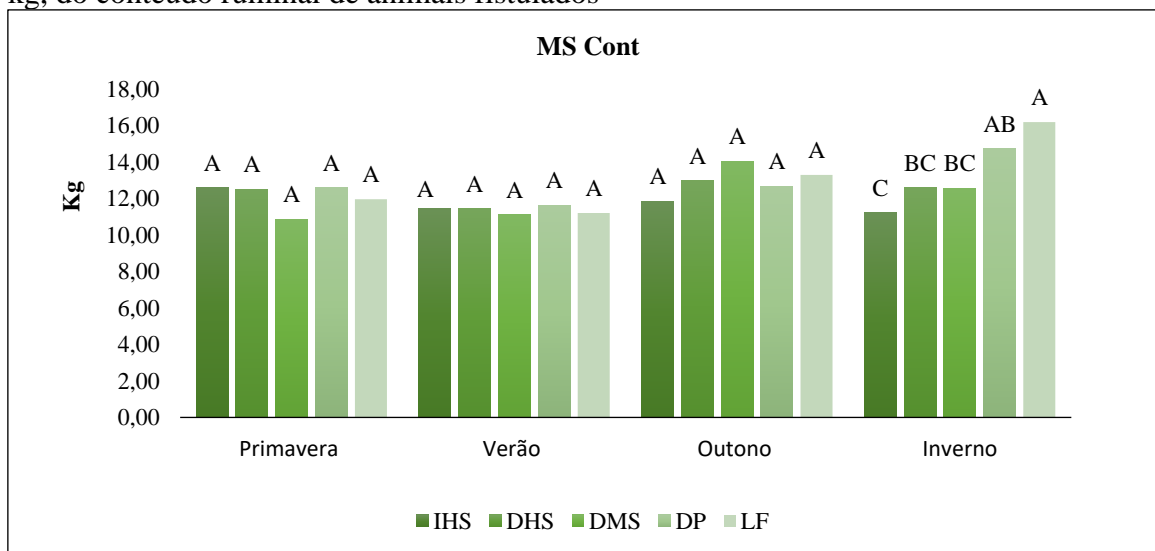
Gráfico 4 - Interação entre tratamento e estação: massa ruminal total, em kg, do conteúdo ruminal de animais fistulados



Fonte: Lobo (2023)

Na primavera, verão e outono a MS do conteúdo ruminal foi estatisticamente igual entre os tratamentos. No inverno, os tratamentos LF (16,18 kg) e DP (14,71 kg) foram iguais, com alta MS do conteúdo ruminal, seguidos dos DHS (12,57 kg) e DMS (12,56 kg) que foram iguais ao DP e IHS (11,21) (Gráfico 5).

Gráfico 5 - Interação entre tratamento e estação: matéria seca do conteúdo ruminal, em kg, do conteúdo ruminal de animais fistulados

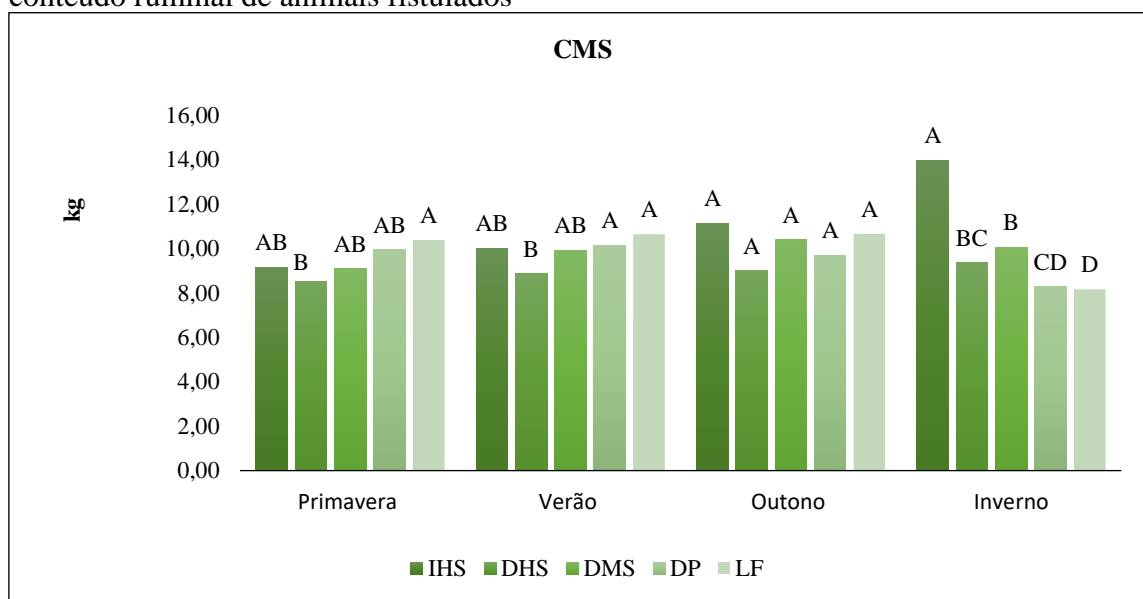


Fonte: Lobo (2023)

Durante a primavera os tratamentos IHS (9,17 kg), DMS (9,09 kg), DP (9,95 kg) e LF (10,39 kg) foram iguais entre si, sendo este, LF, diferente do DHS o qual foi igual aos demais, em relação à variável CMS. No verão, os tratamentos IHS (10,02 kg), DMS

(9,92 kg), DP (10,16 kg) e LF (10,65 kg) foram iguais entre si, sendo, DP e LF, diferente do DHS o qual foi igual aos demais. Durante o outono o CMS foi igual para todos os sistemas ou tratamentos (11,13; 9; 10,40; 9,71 e 10,66 kg, respectivamente para IHS, DHS, DMS, DP e LF). Na estação de inverno para a variável CMS, o valor absoluto foi maior para IHS (13,98 kg) seguido de DHS (9,36 kg) e DMS (10,06 kg) sendo estes iguais entre si e DHS se iguala a DP (8,29 kg) e este a LF (8,17 kg) (Gráfico 6)

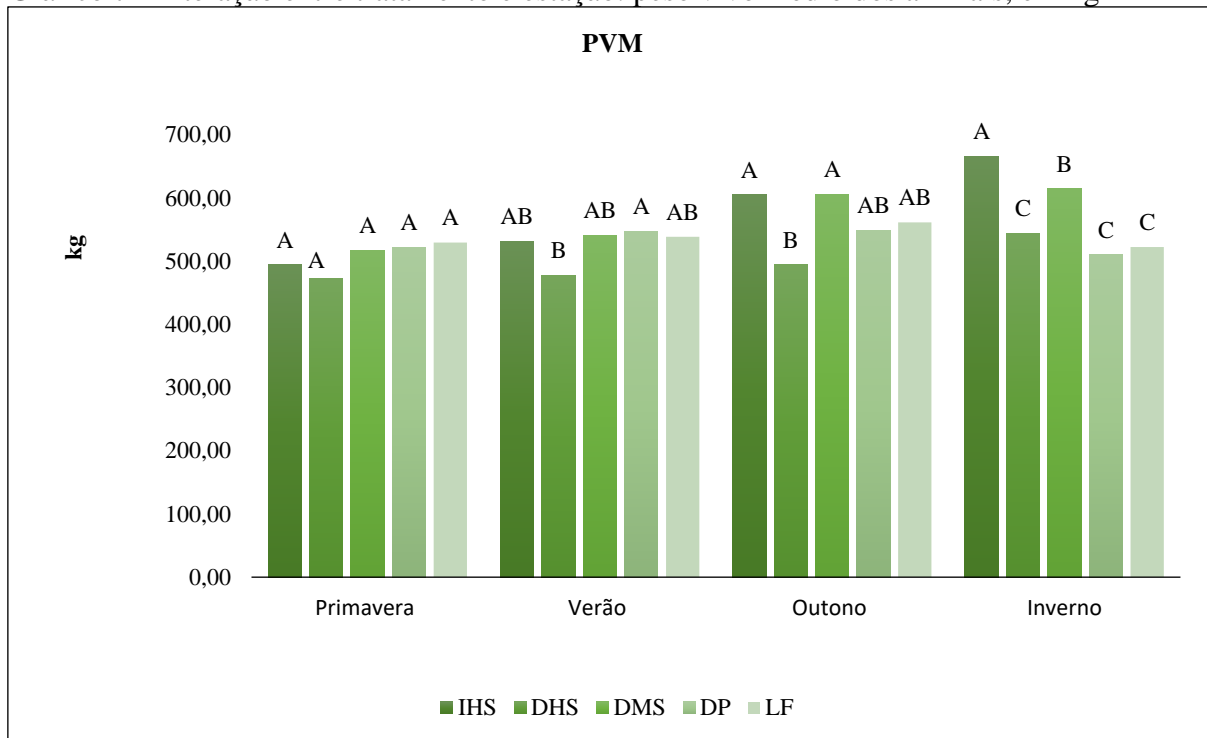
Gráfico 6 - Interação entre tratamento e estação: consumo de matéria seca, em kg, do conteúdo ruminal de animais fistulados



Fonte: Lobo (2023)

Para a variável peso vivo médio, durante a primavera os tratamentos não diferiram entre si (494,25; 472,27; 517,50; 522,00; 529,65 kg para os respectivos tratamentos IHS, DHS, DMS, DP, LF). No verão, IHS (531,75 kg), DMS (541,25 kg), DP (547,00 kg) e LF (538,50 kg) foram iguais entre si, sendo que DHS (478,00 kg) difere apenas de DP. Durante o outono, os tratamentos IHS (605,50 kg), DMS (606,00 kg), DP (548,50 kg) e LF (561,50 kg) tiveram pesos iguais, assim como DHS (494,25 kg), DP e LF, o qual difere de IHS e DMS. Na estação de inverno, houve maior valor de peso médio dos animais foi no tratamento IHS (665,50 kg), seguido do DMS (614,50 kg) e há um menor valor de pesagem para os tratamentos DHS (544,25 kg), DP (510,00) e LF (522,25 kg) (Gráfico 7).

Gráfico 7 - Interação entre tratamento e estação: peso vivo médio dos animais, em kg



Fonte: Lobo (2023)

Dados sobre a produção de ácidos graxos de cadeia curta e metano obtidos através do conteúdo ruminal foram mostrados nas Tabela 4 e 4.1. Não houve interação significativa ($P > 0,05$) para as variáveis apresentadas.

Tabela 4 - Produção de ácidos graxos de cadeia curta e metano obtidos através do conteúdo ruminal em diferentes épocas do ano durante dois anos experimentais (2019-2021)

| Tratamentos | Estação | Ano | Acético | | | | Propiônico | | | | | Butírico | | | | | |
|-----------------------------|--------------------|-----|--------------------|---------------------|-----------------------|---------------------------------------|----------------------------------|--------------------|--------------------|-----------------------|---------------------------------------|----------------------------------|---------------------|--------------------|-----------------------|---------------------------------------|----------------------------------|
| | | | 0 min (mmol/L) | 30 min (mmol/L) | Diferença (mmol/L) | Produção (g/kg.dia ⁻¹) | EB (kcal/kg.d ⁻¹) | 0 min (mmol/L) | 30 min (mmol/L) | Diferença (mmol/L) | Produção (g/kg.dia ⁻¹) | EB (kcal/kg.d ⁻¹) | 0 min (mmol/L) | 30 min (mmol/L) | Diferença (mmol/L) | Produção (g/kg.dia ⁻¹) | EB (kcal/kg.d ⁻¹) |
| IHS | | | 70,67 | 73,32 | 7,59 | 202,36 | 703,04 ^A | 18,14 | 19,26 | 1,92 | 72,40 | 359,56 | 11,92 ^A | 12,80 | 1,48 | 62,25 | 381,40 |
| DHS | | | 72,35 | 74,88 | 6,57 | 217,74 | 664,63 ^{AB} | 17,09 | 18,02 | 1,60 | 70,09 | 349,05 | 11,03 ^B | 11,78 | 1,25 | 68,14 | 415,98 |
| DMS | | | 70,95 | 71,98 | 4,54 | 181,78 | 542,42 ^{AB} | 18,50 | 19,16 | 1,50 | 73,52 | 324,61 | 10,12 ^C | 10,58 | 0,98 | 46,23 | 336,06 |
| DP | | | 70,98 | 73,61 | 3,94 | 152,62 | 457,61 ^B | 17,21 | 18,04 | 1,19 | 54,82 | 275,31 | 10,25 ^{BC} | 10,95 | 0,98 | 55,06 | 328,35 |
| LF | | | 69,48 | 70,92 | 5,43 | 198,41 | 564,96 ^{AB} | 17,70 | 18,45 | 1,54 | 78,00 | 388,37 | 9,68 ^C | 10,31 | 1,04 | 62,55 | 377,67 |
| | Primavera | | 76,87 ^A | 76,52 ^A | 3,84 | 147,22 | 518,75 | 18,12 ^A | 18,06 ^A | 0,95 ^C | 45,50 ^A | 231,88 ^C | 11,60 ^A | 11,73 ^A | 0,76 ^B | 41,88 ^B | 267,16 ^B |
| | Verão | | 66,57 ^B | 69,40 ^B | 5,06 | 200,69 | 713,32 | 14,61 ^B | 15,50 ^B | 1,25 ^{BC} | 63,87 ^B | 320,97 ^{BC} | 8,52 ^B | 9,18 ^B | 1,00 ^{AB} | 59,76 ^{AB} | 358,40 ^{AB} |
| | Outono | | 70,91 ^B | 73,87 ^A | 4,29 | 158,26 | 552,33 | 19,32 ^A | 20,52 ^A | 1,39 ^B | 72,33 ^{AB} | 360,21 ^{AB} | 10,99 ^A | 11,85 ^A | 1,02 ^A | 59,79 ^A | 356,37 ^{AB} |
| | Inverno | | 69,20 ^B | 72,00 ^{AB} | 9,25 | 256,15 | 561,74 | 18,84 ^A | 20,28 ^A | 2,49 ^{AB} | 97,36 ^A | 444,47 ^A | 11,31 ^A | 12,37 ^A | 1,80 ^A | 73,95 ^A | 489,64 ^A |
| | | 1 | 73,21 | 77,10 | 6,20 | 240,66 | 785,64 | 18,52 | 21,43 | 1,76 | 93,01 | 455,61 | 11,11 | 13,13 | 1,42 | 72,27 | 446,27 |
| | | 2 | 68,56 | 68,79 | 5,03 | 140,50 | 387,43 | 16,94 | 15,74 | 1,33 | 46,52 | 223,15 | 10,09 | 9,44 | 0,87 | 45,42 | 289,51 |
| | EPM | | 0,78 | 0,91 | 0,65 | 15,14 | 41,74 | 0,42 | 0,48 | 0,14 | 4,85 | 22,20 | 0,27 | 0,31 | 0,11 | 3,98 | 24,41 |
| | Média | | 70,89 | 72,94 | 5,64 | 192,01 | 601,56 | 17,73 | 18,59 | 1,57 | 70,56 | 344,60 | 10,60 | 11,28 | 1,15 | 58,83 | 375,28 |
| Probabilidades Estatísticas | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Tratamento | | 0,680 | 0,610 | 0,410 | 0,660 | 0,039 | 0,780 | 0,802 | 0,345 | 0,450 | 0,101 | 0,001 | 0,160 | 0,517 | 0,370 | 0,688 |
| | Estação | | <,0001 | 0,017 | 0,110 | 0,160 | 0,630 | <,0001 | <,0001 | 0,018 | 0,001 | 0,002 | <,0001 | <,0001 | 0,041 | 0,008 | 0,009 |
| | Ano | | 0,000 | <,0001 | 0,033 | <,0001 | <,0001 | 0,017 | <,0001 | <,0001 | <,0001 | <,0001 | 0,002 | <,0001 | <,0001 | 0,000 | 0,001 |
| | Tratamento*Estação | | 0,170 | 0,980 | 0,830 | 0,670 | 0,210 | 0,880 | 0,610 | 0,852 | 0,940 | 0,860 | 0,710 | 0,840 | 0,670 | 0,810 | 0,870 |

DP: Sistema de Pastagem Extensiva em Solo Degradado - *Urochloa, brizantha* cv, Marandu e *Urochloa decumbens* cv, Basilisk; LF: Sistema de Pastagem Intensiva Sem Irrigação em Rotação Consorciada com floresta nativa do cerrado brasileiro (sistema silvipastoril) com Moderada Taxa de Lotação - *Urochloa decumbens* cv, Basilisk; DMS: Sistema de Pastagem Intensiva sem Irrigação em Rotação com Moderada Taxa de Lotação - *Urochloa brizantha* cv, Marandu e *Urochloa decumbens* cv, Basilisk; DHS: Sistema de Pastagem Intensiva sem Irrigação em Rotação com Alta Taxa de Lotação - *Megathyrsus maximus* cv, Tanzânia; IHS: Sistema de Pastagem com Irrigação em Rotação com Alta Taxa de Lotação - *Megathyrsus, maximus* cv, Tanzânia com sobressemeadura de *Avena byzantina* e *Lolium, Multiflorum* para consumo durante o inverno, Primavera: 23/09 a 21/12; Verão 2020: 22/12 a 19/03; Outono 2020: 20/03 a 20/06; Inverno 2020: 20/06 a 22/09, Ano 1: 2019-2020; Ano 2: 2020-2021, EPM: erro padrão da média, EB: energia bruta. Fonte: Lobo (2023)

Tabela 4.1 - Produção de ácidos graxos de cadeia curta e metano obtidos através do conteúdo ruminal em diferentes épocas do ano durante dois anos experimentais (2019-2021)

| Tratamentos | Estação | Ano | AGCC Total | | | | | Ac:Pr | Metano | | | | | PER |
|-----------------------------|--------------------|-----|---------------------|---------------------|-----------------------|------------------------|-------------------|-------------------|--------------------|---------------------|------------------------|------------------------|---------------------|--------------------|
| | | | 0 min (mmol/L) | 30 min (mmol/L) | Diferença (mmol/L) | Produção (g/kg.dia) | EB (kcal/kg.d) | | 0 min (mmol/fr) | 30 min (mmol/fr) | Diferença (mmol/fr) | Produção (g/kg.dia) | EB (kcal/kg.d) | |
| IHS | | | 100,74 | 106,30 | 10,21 | 320,20 | 1419,19 | 3,77 | 0,02 ^A | 0,06 ^A | 0,04 ^A | 19,07 | 253,28 | 19,92 |
| DHS | | | 100,46 | 104,66 | 9,71 | 312,02 | 1425,60 | 3,99 | 0,02 ^{AB} | 0,05 ^{AB} | 0,04 ^A | 17,08 | 228,39 | 22,62 |
| DMS | | | 99,57 | 101,71 | 6,71 | 246,69 | 1128,75 | 2,99 | 0,02 ^C | 0,04 ^{BC} | 0,03 ^{AB} | 13,98 | 185,90 | 19,66 |
| DP | | | 98,44 | 102,60 | 6,18 | 259,38 | 1128,26 | 3,37 | 0,01 ^C | 0,04 ^C | 0,03 ^B | 11,68 | 155,55 | 19,87 |
| LF | | | 96,86 | 99,69 | 8,20 | 321,64 | 1199,57 | 3,13 | 0,01 ^{BC} | 0,04 ^C | 0,03 ^B | 13,69 | 176,81 | 22,29 |
| | Primavera | | 106,57 ^A | 106,28 ^A | 5,66 ^B | 213,46 ^B | 1022,35 | 4,03 ^A | 0,02 ^A | 0,06 ^A | 0,05 ^A | 20,49 ^A | 267,03 ^A | 28,24 ^A |
| | Verão | | 89,70 ^B | 94,07 ^B | 6,46 ^B | 305,57 ^{AB} | 1324,20 | 3,86 ^A | 0,01 ^B | 0,05 ^B | 0,03 ^{AB} | 15,74 ^B | 207,22 ^B | 20,73 ^B |
| | Outono | | 101,22 ^A | 106,24 ^A | 6,92 ^B | 278,90 ^{AB} | 1223,91 | 2,79 ^B | 0,01 ^B | 0,04 ^{BC} | 0,03 ^B | 12,39 ^B | 163,87 ^B | 17,18 ^B |
| | Inverno | | 99,36 ^A | 105,38 ^A | 13,77 ^A | 370,00 ^A | 1470,64 | 3,08 ^B | 0,01 ^B | 0,04 ^C | 0,02 ^B | 11,78 ^B | 161,84 ^B | 17,18 ^B |
| | | 1 | 103,13 | 113,82 | 7,96 | 398,97 | 1729,29 | 3,30 | 0,01 | 0,05 | 0,04 | 15,62 | 226,45 | 15,40 |
| | | 2 | 95,30 | 92,16 | 8,45 | 185,00 | 791,26 | 3,56 | 0,01 | 0,04 | 0,02 | 14,58 | 173,53 | 26,34 |
| | EPM | | 1,31 | 1,54 | 0,91 | 21,79 | 83,92 | 0,13 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,96 | 12,42 | 1,25 |
| | Média | | 99,21 | 102,99 | 8,29 | 299,35 | 1272,25 | 3,44 | 0,01 | 0,05 | 0,03 | 18,43 | 199,99 | 20,87 |
| Probabilidades Estatísticas | | | | | | | | | | | | | | |
| | Tratamento | | 0,680 | 0,700 | 0,551 | 0,430 | 0,382 | 0,130 | 0,001 | 0,007 | 0,027 | 0,160 | 0,054 | 0,800 |
| | Estação | | <,0001 | <,0001 | 0,008 | 0,003 | 0,111 | <,0001 | <,0001 | <,0001 | 0,001 | <,0001 | <,0001 | 0,001 |
| | Ano | | 0,002 | <,0001 | 0,787 | <,0001 | <,0001 | 0,300 | 0,137 | 0,001 | <,0001 | 0,130 | <,0001 | <,0001 |
| | Tratamento*Estação | | 0,210 | 0,550 | 0,960 | 0,250 | 0,760 | 0,250 | 0,210 | 0,200 | 0,430 | 0,330 | 0,340 | 0,560 |

DP: Sistema de Pastagem Extensiva em Solo Degradado - Urochloa, brizantha cv, Marandu e Urochloa decumbens cv, Basilisk; LF: Sistema de Pastagem Intensiva Sem Irrigação em Rotação Consorciada com floresta nativa do cerrado brasileiro (sistema silvipastoril) com Moderada Taxa de Lotação - Urochloa decumbens cv, Basilisk; DMS: Sistema de Pastagem Intensiva sem Irrigação em Rotação com Moderada Taxa de Lotação - Urochloa brizantha cv, Marandu e Urochloa decumbens cv, Basilisk; DHS: Sistema de Pastagem Intensiva sem Irrigação em Rotação com Alta Taxa de Lotação - Megathyrsus maximus cv, Tanzânia; IHS: Sistema de Pastagem com Irrigação em Rotação com Alta Taxa de Lotação - Megathyrsus, maximus cv, Tanzânia com sobressemeadura de Avena byzantina e Lolium, Multiflorum para consumo durante o inverno, Primavera: 23/09 a 21/12; Verão 2020: 22/12 a 19/03; Outono 2020: 20/03 a 20/06; Inverno 2020: 20/06 a 22/09, Ano 1: 2019-2020; Ano 2: 2020-2021, EPM: erro padrão da média, EB: energia bruta; Ac:Pr: Relação acetato e proprionato; PER: perda energética relativa. Fonte: Lobo (2023)

Em relação à produção de gases, não houve diferença entre os tratamentos para acetato, propionato, butirato, AGCC total, relação acetato:propionato e metano ($P > 0,05$). No primeiro ano ($240,66 \text{ g/kg.dia}^{-1}$) em relação ao segundo ($140,50 \text{ g/kg.dia}^{-1}$) para acetato, Para propionato o primeiro ano ($93,01 \text{ g/kg.dia}^{-1}$) diferenciou do segundo ano experimental ($46,52 \text{ g/kg.dia}^{-1}$) e a primavera ($45,5 \text{ g/kg.dia}^{-1}$) se igualou ao outono ($72,33 \text{ g/kg.dia}^{-1}$) e ao inverno ($97,36 \text{ g/kg.dia}^{-1}$) e verão ($63,87 \text{ g/kg.dia}^{-1}$) foi igual ao outono e diferente dos demais. Para o butirato também o primeiro ano ($72,27 \text{ g/kg.dia}^{-1}$) foi maior que o segundo ano ($45,42 \text{ g/kg.dia}^{-1}$) e na primavera ($41,88 \text{ g/kg.dia}^{-1}$) houve menor produção se igualando ao verão ($59,76 \text{ g/kg.dia}$) e este por sua vez igual a outono ($59,79 \text{ g/kg.dia}^{-1}$) e inverno ($73,95 \text{ g/kg.dia}^{-1}$). Para AGCC total houve diferença para ano e estação sendo primeiro ($398,97 \text{ g/kg.dia}^{-1}$) ano maior que o segundo ($185,00 \text{ g/kg.dia}^{-1}$); a produção na primavera ($213,46 \text{ g/kg.dia}^{-1}$) foi menor e no inverno foi maior ($370,00 \text{ g/kg.dia}^{-1}$) e média para as demais estações. A relação acetato: propionato foi maior para primavera ($4,03 \text{ g/kg.dia}^{-1}$) e verão ($3,84 \text{ g/kg.dia}^{-1}$) e menor para outono ($2,79 \text{ g/kg.dia}^{-1}$) e inverno ($3,08 \text{ g/kg.dia}^{-1}$). A produção de metano foi maior na primavera ($20,49 \text{ g/kg.dia}^{-1}$) em relação às demais estações, as quais foram iguais entre si (Tabelas 4 e 4.1)

Na Tabela 5, foram mostrados os dados sobre concentração de nitrogênio amoniacal relacionado à fermentação ruminal. Efeitos de tratamento e estação ($P < 0,05$) foram observados na concentração de nitrogênio amoniacal ruminal, a maior concentração foi observada no fluido ruminal de animais do tratamento IHS ($17,17 \text{ mg/dL}$ para 0' e $16,40 \text{ mg/dL}$ para 30') em relação aos demais. Em relação as estações do ano, no outono ($13,78 \text{ mg/dL}$ para 0' e $14,36 \text{ mg/dL}$ para 30') os animais apresentaram maior concentração de nitrogênio amoniacal, baixa concentração na primavera ($9,13 \text{ mg/dL}$ para 0' e $9,26 \text{ mg/dL}$ para 30') e média nas demais estações. Houve consumo de N-NH_3 no rúmen apenas durante o verão e maior produção no outono ($1,25 \text{ mg/dL}$) e inverno ($0,95 \text{ mg/dL}$).

Tabela 5 - Concentração de nitrogênio amoniacal relacionado à fermentação ruminal em diferentes épocas do ano durante dois anos de coleta de dados (2019-2021)

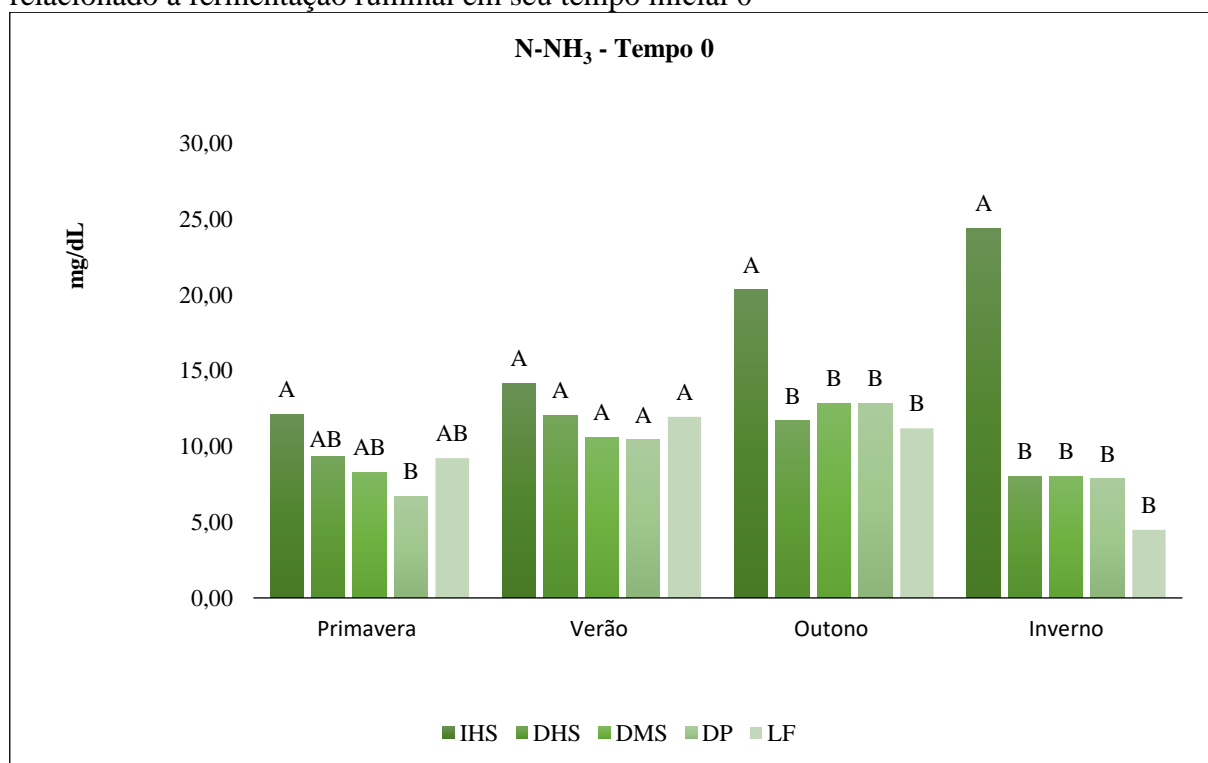
| Tratamentos | Estações | Ano | N-NH ₃ | | |
|-----------------------------|-----------|-----|--------------------|---------------------|----------------------------|
| | | | Concentração | | |
| | | | 0', mg/dL | 30', mg/dL | Dif, mg/dL.h ⁻¹ |
| IHS | | | 17,17 ^A | 16,40 ^A | 0,35 |
| DHS | | | 10,90 ^B | 11,16 ^B | 0,39 |
| DMS | | | 10,16 ^B | 10,52 ^B | 0,97 |
| DP | | | 9,46 ^B | 9,96 ^B | 0,67 |
| LF | | | 9,62 ^B | 10,22 ^B | 0,47 |
| | Primavera | | 9,13 ^C | 9,26 ^C | 0,12 ^B |
| | Verão | | 11,84 ^B | 11,87 ^B | -0,05 ^B |
| | Outono | | 13,78 ^A | 14,36 ^A | 1,25 ^A |
| | Inverno | | 11,09 ^B | 11,12 ^{BC} | 0,95 ^A |
| | | 1 | 11,15 | 11,30 | 0,39 |
| | | 2 | 11,77 | 12,01 | 0,57 |
| EPM | | | 0,52 | 0,46 | 0,19 |
| Média | | | 11,46 | 11,56 | 0,57 |
| Probabilidades Estatísticas | | | | | |
| Tratamento | | | <,0001 | <,0001 | 0,620 |
| Estação | | | <,0001 | <,0001 | 0,010 |
| Ano | | | 0,480 | 0,320 | 0,140 |
| Tratamento*Estação | | | 0,002 | 0,350 | 0,070 |

DP: Sistema de Pastagem Extensiva em Solo Degradado - *Urochloa, brizantha* cv, Marandu e *Urochloa decumbens* cv, Basilisk; LF: Sistema de Pastagem Intensiva Sem Irrigação em Rotação Consorciada com floresta nativa do cerrado brasileiro (sistema silvipastoril) com Moderada Taxa de Lotação - *Urochloa decumbens* cv, Basilisk; DMS: Sistema de Pastagem Intensiva sem Irrigação em Rotação com Moderada Taxa de Lotação - *Urochloa brizantha* cv, Marandu e *Urochloa decumbens* cv, Basilisk; DHS: Sistema de Pastagem Intensiva sem Irrigação em Rotação com Alta Taxa de Lotação - *Megathyrus maximus* cv, Tanzânia; IHS: Sistema de Pastagem com Irrigação em Rotação com Alta Taxa de Lotação - *Megathyrus, maximus* cv, Tanzânia com sobressemeadura de *Avena byzantina* e *Lolium, Multiflorum* para consumo durante o inverno, Primavera: 23/09 a 21/12; Verão 2020: 22/12 a 19/03; Outono 2020: 20/03 a 20/06; Inverno 2020: 20/06 a 22/09, Ano 1: 2019-2020; Ano 2: 2020-2021, EPM: erro padrão da média. Fonte: Lobo (2023)

Significativa interação entre tratamentos e estações ($P = 0,017$) foi observada na concentração de nitrogênio amoniacal ruminal no tempo 0. A interação foi desdobrada em forma de gráfico e mostrada no Gráfico 8.

Na primavera, os tratamentos não diferiram entre si, exceto os tratamentos DP (6,70 mg/dL) e IHS (12,11 mg/dL). No verão e inverno, os tratamentos foram estatisticamente iguais. No outono, animais do tratamento IHS (20,34 mg/dL) tiveram uma concentração elevada de nitrogênio amoniacal ruminal quando comparado aos demais (Gráfico 8).

Gráfico 8 - Interação entre tratamento e estação: variável nitrogênio amoniacal, em mg/dL relacionado à fermentação ruminal em seu tempo inicial 0



Fonte: Lobo (2023)

As variáveis relacionadas ao pH ruminal foram descritas na Tabela 6. Efeito significativo de estação nos pH mínimo e máximo foi observado, no inverno os animais tiveram faixas de pH ruminal mais alta em relação às outras estações do ano, O pH médio foi mais elevado no primeiro ano de estudo (7,12 e 6,99), Diferenças no tempo em que o pH ruminal ficou abaixo de 7 foram observadas entre as estações do ano, o maior tempo foi observado no inverno, seguido da primavera e verão, e menor tempo no outono, Em relação a área, o pH abaixo de 7 se manteve por mais tempo no verão em comparação com as demais estações (Tabela 6).

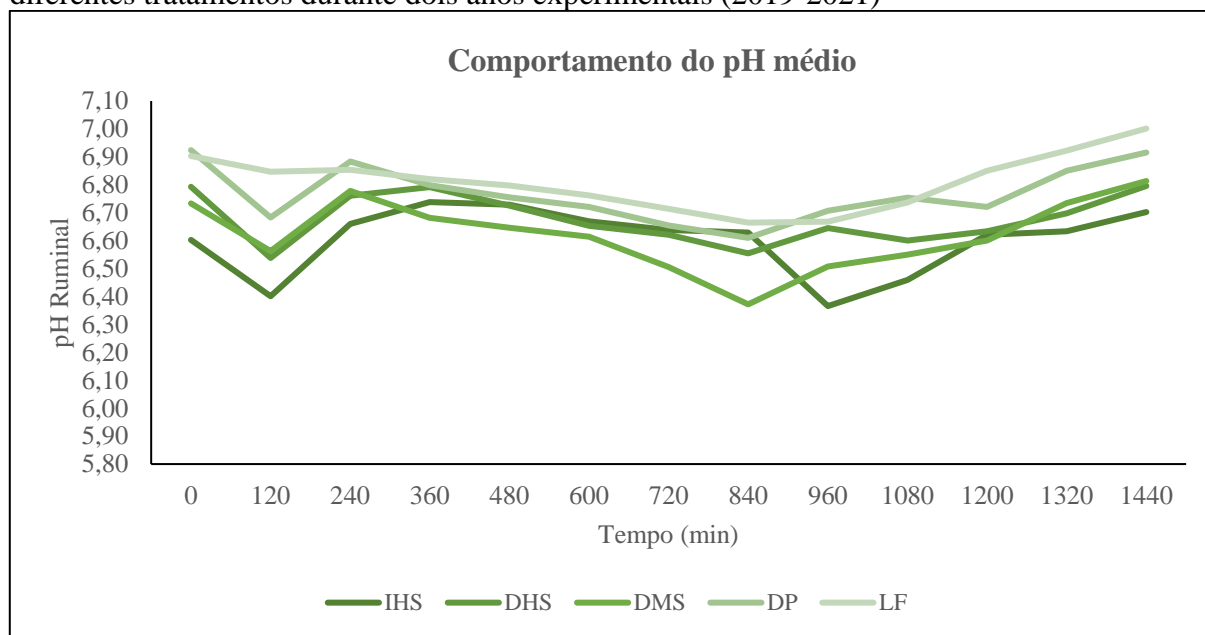
Tabela 6 - Variáveis relacionadas ao pH ruminal em diferentes épocas do ano durante dois anos consecutivos de coleta de dados (2019-2021)

| Tratamentos | Estação | Ano | pH, dia | | | Tempo de pH, min/d | | | Área, h, (pH/d) | | |
|-----------------------------|--------------------|-----|-------------------|-------|--------------------|--------------------|--------|-----------------------|-----------------|-------|--------------------|
| | | | Mínimo | Médio | Máximo | < 6,4 | < 6,6 | < 7,0 | < 6,4 | < 6,6 | < 7,0 |
| IHS | | | 6,08 | 7,05 | 6,67 | 207,29 | 523,75 | 1218,13 | 0,33 | 1,73 | 9,92 |
| DHS | | | 6,14 | 7,02 | 6,62 | 331,37 | 548,35 | 1334,80 | 1,02 | 2,48 | 8,16 |
| DMS | | | 6,01 | 6,01 | 6,77 | 331,76 | 516,65 | 1259,72 | 1,27 | 3,03 | 8,34 |
| DP | | | 6,16 | 7,08 | 6,60 | 207,82 | 365,64 | 1289,29 | 0,46 | 1,68 | 6,54 |
| LF | | | 6,27 | 7,17 | 6,79 | 163,66 | 415,64 | 1114,79 | 0,48 | 1,34 | 6,50 |
| | Primavera | | 6,08 ^B | 6,99 | 6,65 ^B | 254,07 | 587,32 | 1379,08 ^{AB} | 0,52 | 2,08 | 8,84 ^{AB} |
| | Verão | | 5,99 ^B | 7,05 | 6,54 ^B | 358,91 | 642,32 | 1242,47 ^B | 0,78 | 2,89 | 10,65 ^A |
| | Outono | | 5,90 ^B | 7,04 | 6,71 ^{AB} | 208,93 | 426,01 | 1397,54 ^A | 0,96 | 1,86 | 7,41 ^{AB} |
| | Inverno | | 6,55 ^A | 7,15 | 6,87 ^A | 171,61 | 240,37 | 954,31 ^C | 0,58 | 1,36 | 4,66 ^B |
| | | 1 | 6,12 | 7,12 | 6,77 | 207,27 | 409,19 | 1245,39 | 0,64 | 1,82 | 6,78 |
| | | 2 | 6,14 | 6,99 | 6,63 | 289,49 | 538,82 | 1241,31 | 0,78 | 2,28 | 9,00 |
| | EPM | | 0,05 | 0,03 | 0,04 | 40,78 | 54,64 | 43,56 | 0,16 | 0,30 | 0,76 |
| | Média | | 6,13 | 7,06 | 6,70 | 256,35 | 481,35 | 1233,82 | 0,76 | 2,10 | 8,07 |
| Probabilidades Estatísticas | | | | | | | | | | | |
| | Tratamento | | 0,560 | 0,280 | 0,365 | 0,550 | 0,780 | 0,690 | 0,320 | 0,410 | 0,570 |
| | Estação | | <,0001 | 0,240 | 0,020 | 0,390 | 0,050 | <,0001 | 0,760 | 0,390 | 0,040 |
| | Ano | | 0,840 | 0,020 | 0,080 | 0,310 | 0,230 | 0,850 | 0,690 | 0,470 | 0,140 |
| | Tratamento*Estação | | 0,700 | 0,800 | 0,670 | 0,220 | 0,400 | 0,550 | 0,450 | 0,530 | 0,440 |

DP: Sistema de Pastagem Extensiva em Solo Degradado - *Urochloa, brizantha* cv, Marandu e *Urochloa decumbens* cv, Basilisk; LF: Sistema de Pastagem Intensiva Sem Irrigação em Rotação Consorciada com floresta nativa do cerrado brasileiro (sistema silvipastoril) com Moderada Taxa de Lotação - *Urochloa decumbens* cv, Basilisk; DMS: Sistema de Pastagem Intensiva sem Irrigação em Rotação com Moderada Taxa de Lotação - *Urochloa brizantha* cv, Marandu e *Urochloa decumbens* cv, Basilisk; DHS: Sistema de Pastagem Intensiva sem Irrigação em Rotação com Alta Taxa de Lotação - *Megathyrsus maximus* cv, Tanzânia; IHS: Sistema de Pastagem com Irrigação em Rotação com Alta Taxa de Lotação - *Megathyrsus, maximus* cv, Tanzânia com sobresemeadura de *Avena byzantina* e *Lolium, Multiflorum* para consumo durante o inverno, Primavera: 23/09 a 21/12; Verão 2020: 22/12 a 19/03; Outono 2020: 20/03 a 20/06; Inverno 2020: 20/06 a 22/09, Ano 1: 2019-2020; Ano 2: 2020-2021, EPM: erro padrão da média. Fonte: Lobo (2023)

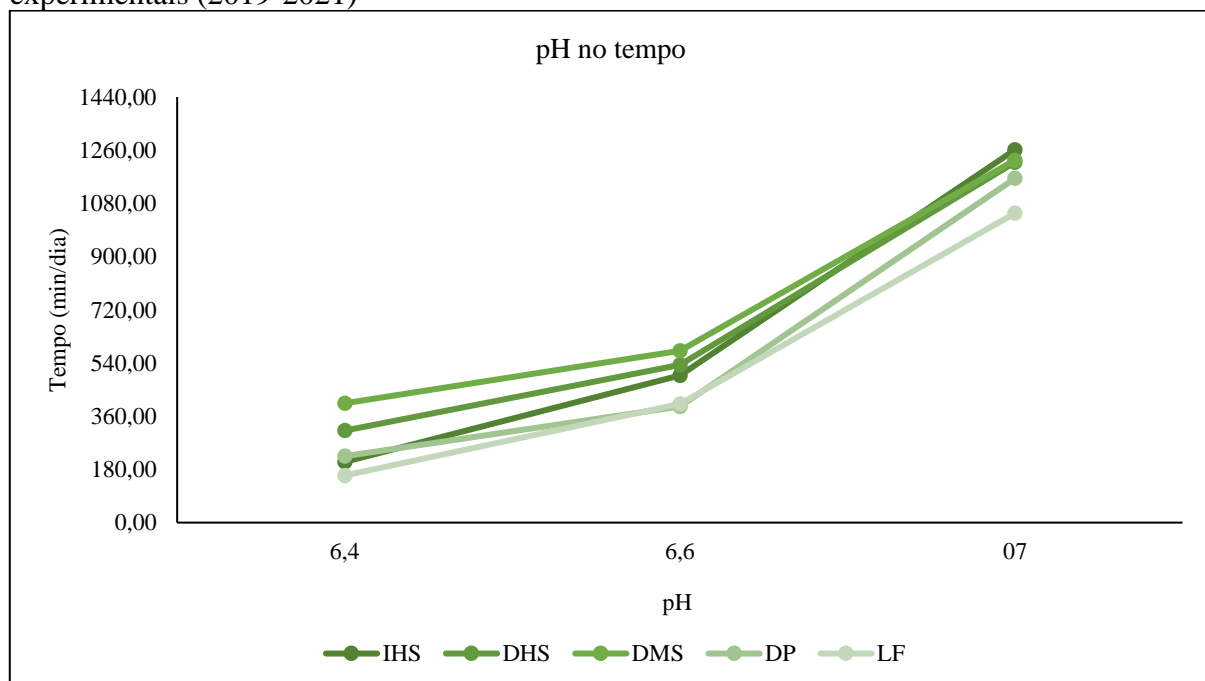
Não houve interações significativas entre tratamentos e estações para as variáveis detalhadas na Tabela 6, porém gráficos (9 e 10) foram criados a fim de demonstrar melhor os comportamentos de pH.

Gráfico 9 - Comportamento do pH ruminal médio de bovinos Nelore fistulados para os diferentes tratamentos durante dois anos experimentais (2019-2021)



Fonte: Lobo (2023)

Gráfico 10 - pH no tempo, em minutos/dia, de bovinos Nelore fistulados durante dois anos experimentais (2019-2021)



Fonte: Lobo (2023)

Em relação a contagem de protozoários ruminais, identificou-se 3 gêneros e uma subfamília (*Diplodiniinae*) demonstrados na Tabela 7. A população de protozoários totais foi mais elevada no primeiro ano experimental em relação ao segundo ano. O número de protozoários do gênero *Dasytricha* foi maior no primeiro ano, quando expresso em porcentagem, o elevado percentual foi observado no segundo ano de estudo. Para o gênero *Isotricha* o número foi maior no ano 2. Efeito de estações do ano foi identificado para o número e percentual de *Entodinium*, em relação ao número, na primavera foi mais elevado ($268,48 \times 10^3/\text{mL}$), seguido do verão ($229,06 \times 10^3/\text{mL}$), em menor número no outono ($215,77 \times 10^3/\text{mL}$) e inverno ($174 \times 10^3/\text{mL}$). Já o percentual, foi menor no inverno em relação às demais estações. A população de *Diplodiniinae* foi maior no segundo ano em comparação ao primeiro, quando expressa em porcentagem a população de *Diplodiniinae* teve efeito significativo das estações do ano ($P = 0,039$), sendo o menor percentual encontrado no outono (Tabela 7).

Tabela 7 - Contagem numérica de protozoários ruminais de animais fistulados durante dois anos experimentais (2019-2021)

| Tratamentos | Estação | Ano | Nº Protozoário x 10 ³ / mL | | | | | Protozoário (%) | | | |
|-----------------------------|--------------------|-----|---------------------------------------|-----------|---------------------|---------------|--------|-----------------|-----------|--------------------|--------------------|
| | | | Dasytricha | Isotricha | Entodinium | Diplodiniinae | Total | Dasytricha | Isotricha | Entodinium | Diplodiniinae |
| IHS | | | 46,29 | 20,96 | 227,08 | 83,88 | 369,12 | 13,41 | 5,81 | 65,23 | 15,54 |
| DHS | | | 44,91 | 14,70 | 165,54 | 52,05 | 277,20 | 16,74 | 5,36 | 59,26 | 18,81 |
| DMS | | | 45,77 | 26,34 | 265,80 | 129,86 | 286,83 | 12,13 | 7,44 | 71,28 | 9,15 |
| DP | | | 35,72 | 16,95 | 266,55 | 38,99 | 343,22 | 11,02 | 4,72 | 72,94 | 11,33 |
| LF | | | 35,83 | 22,89 | 184,17 | 37,80 | 278,20 | 11,51 | 7,70 | 68,01 | 12,78 |
| | Primavera | | 45,77 | 25,89 | 268,48 ^A | 159,92 | 363,09 | 10,25 | 5,90 | 69,26 ^A | 14,59 ^A |
| | Verão | | 39,87 | 13,44 | 229,06 ^B | 37,68 | 282,65 | 13,44 | 4,51 | 68,20 ^A | 13,84 ^A |
| | Outono | | 36,84 | 17,22 | 215,77 ^C | 39,15 | 302,08 | 12,82 | 6,20 | 69,43 ^A | 11,55 ^B |
| | Inverno | | 44,33 | 24,91 | 174,00 ^C | 37,31 | 295,83 | 15,34 | 8,22 | 62,48 ^B | 14,10 ^A |
| | | 1 | 48,66 | 18,36 | 239,54 | 62,62 | 346,23 | 9,96 | 6,29 | 68,56 | 11,61 |
| | | 2 | 34,75 | 22,38 | 204,12 | 74,41 | 275,59 | 15,97 | 6,13 | 66,13 | 15,44 |
| | EPM | | 2,84 | 1,67 | 13,08 | 17,96 | 13,22 | 0,77 | 0,44 | 1,45 | 0,82 |
| | Média | | 41,65 | 20,00 | 209,78 | 61,15 | 303,84 | 12,96 | 6,21 | 67,34 | 13,52 |
| Probabilidades Estatísticas | | | | | | | | | | | |
| | Tratamento | | 0,446 | 0,083 | 0,668 | 0,382 | 0,329 | 0,666 | 0,306 | 0,442 | 0,238 |
| | Estação | | 0,138 | 0,002 | 0,002 | 0,232 | 0,025 | 0,307 | 0,008 | 0,050 | 0,039 |
| | Ano | | 0,002 | 0,019 | 0,181 | <,0001 | 0,024 | 0,008 | 0,876 | 0,623 | 0,177 |
| | Tratamento*Estação | | 0,024 | 0,014 | 0,087 | 0,038 | 0,028 | 0,495 | 0,007 | 0,728 | 0,305 |

DP: Sistema de Pastagem Extensiva em Solo Degradado - *Urochloa, brizantha* cv, Marandu e *Urochloa decumbens* cv, Basilisk; LF: Sistema de Pastagem Intensiva Sem Irrigação em Rotação Consorciada com floresta nativa do cerrado brasileiro (sistema silvipastoril) com Moderada Taxa de Lotação - *Urochloa decumbens* cv, Basilisk; DMS: Sistema de Pastagem Intensiva sem Irrigação em Rotação com Moderada Taxa de Lotação - *Urochloa brizantha* cv, Marandu e *Urochloa decumbens* cv, Basilisk; DHS: Sistema de Pastagem Intensiva sem Irrigação em Rotação com Alta Taxa de Lotação - *Megathyrus maximus* cv, Tanzânia; IHS: Sistema de Pastagem com Irrigação em Rotação com Alta Taxa de Lotação - *Megathyrus, maximus* cv, Tanzânia com sobressemeadura de *Avena byzantina* e *Lolium, Multiflorum* para consumo durante o inverno, Primavera: 23/09 a 21/12; Verão 2020: 22/12 a 19/03; Outono 2020: 20/03 a 20/06; Inverno 2020: 20/06 a 22/09, Ano 1: 2019-2020; Ano 2: 2020-2021, EPM: erro padrão da média; Gênero dos protozoários, 10³/mL. Fonte: Lobo (2023)

As Interações significativas ($P < 0,05$) entre tratamentos e estações do ano foram desdobradas e demonstradas em gráficos (APÊNDICE B)

Tabela 8 - Cinética ruminal: degradabilidade ruminal *in situ* da matéria seca em diferentes épocas do ano durante dois anos de coleta de dados (2019-2021)

| Tratamentos | Estação | Ano | MS | | | | | | | | | | | |
|--------------------|-----------|-----|-----------------------------|--------|--------|--------------------|---------------------|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------------------|--------------------|
| | | | a | b | DE | DE | DE | A | B | DP | DR | Kt | Kd | Kp |
| | | | (%) | (%) | (2%/h) | (5%/h) | (8%/h) | (%) | (%) | (%) | (%) | (%/h) | (%/h) | (%/h) |
| IHS | | | 36,89 | 43,66 | 59,93 | 50,67 | 45,67 | 43,67 | 33,83 | 77,50 | 57,37 | 8,17 | 5,20 ^{AB} | 3,60 ^A |
| DHS | | | 40,28 | 33,70 | 57,11 | 51,31 | 48,58 | 42,26 | 31,72 | 66,68 | 54,14 | 7,17 | 3,68 ^C | 3,50 ^A |
| DMS | | | 39,75 | 26,60 | 56,41 | 50,56 | 47,97 | 42,24 | 26,69 | 64,86 | 53,68 | 7,31 | 3,64 ^C | 3,70 ^A |
| DP | | | 37,62 | 26,84 | 54,92 | 49,18 | 46,28 | 42,16 | 22,30 | 64,46 | 54,82 | 6,73 | 4,62 ^{BC} | 2,40 ^{AB} |
| LF | | | 35,57 | 33,17 | 54,40 | 45,36 | 39,84 | 44,45 | 24,53 | 68,97 | 67,05 | 6,79 | 6,48 ^A | 0,31 ^B |
| | Primavera | | 43,13 ^A | 31,96 | 64,14 | 57,81 ^A | 54,46 ^A | 45,29 ^A | 29,77 | 75,06 | 63,79 | 8,82 | 5,87 ^A | 2,95 |
| | Verão | | 38,94 ^{AB} | 34,57 | 60,51 | 52,85 ^B | 49,08 ^B | 41,57 ^B | 31,94 | 73,51 | 56,79 | 7,74 | 4,42 ^{AB} | 4,02 |
| | Outono | | 38,67 ^{AB} | 30,64 | 53,41 | 47,30 ^C | 44,65 ^{BC} | 42,10 ^B | 29,27 | 68,12 | 53,16 | 6,29 | 2,68 ^B | 3,61 |
| | Inverno | | 31,38 ^B | 34,01 | 48,15 | 39,70 ^C | 34,48 ^C | 42,87 ^B | 20,27 | 57,29 | 55,92 | 6,09 | 5,91 ^A | 0,17 |
| | | 1 | 47,18 | 34,31 | 59,60 | 51,03 | 47,07 | 42,47 | 33,03 | 71,23 | 57,13 | 6,92 | 3,63 | 4,02 |
| | | 2 | 28,87 | 31,30 | 53,52 | 47,80 | 44,26 | 43,44 | 31,96 | 65,75 | 57,70 | 7,55 | 5,81 | 1,40 |
| EPM | | | 0,95 | 1,42 | 1,07 | 1,33 | 1,63 | 0,38 | 1,41 | 1,25 | 1,18 | 0,25 | 0,38 | 0,42 |
| Média | | | 39,46 | 31,20 | 56,55 | 49,42 | 45,67 | 42,96 | 27,35 | 69,36 | 56,06 | 7,24 | 4,72 | 2,69 |
| | | | Probabilidades Estatísticas | | | | | | | | | | | |
| Tratamento | | | 0,848 | 0,053 | 0,002 | 0,138 | 0,114 | 0,066 | <,0001 | 0,106 | 0,005 | 0,048 | 0,002 | 0,050 |
| Estação | | | <,0001 | <,0001 | <,0001 | <,0001 | <,0001 | 0,004 | 0,017 | 0,013 | <,0001 | <,0001 | 0,001 | 0,116 |
| Ano | | | <,0001 | 0,025 | <,0001 | 0,001 | 0,004 | 0,013 | 0,052 | <,0001 | 0,272 | 0,013 | <,0001 | <,0001 |
| Tratamento*Estação | | | 0,094 | <,0001 | 0,012 | 0,103 | 0,211 | 0,158 | <,0001 | 0,003 | 0,004 | <,0001 | 0,443 | 0,137 |

DP: Sistema de Pastagem Extensiva em Solo Degradado - *Urochloa. brizantha* cv. Marandu e *Urochloa decumbens* cv. Basilisk; LF: Sistema de Pastagem Intensiva Sem Irrigação em Rotação Consorciada com floresta nativa do cerrado brasileiro (sistema silvipastoril) com Moderada Taxa de Lotação - *Urochloa decumbens* cv. Basilisk; DMS: Sistema de Pastagem Intensiva sem Irrigação em Rotação com Moderada Taxa de Lotação - *Urochloa brizantha* cv. Marandu e *Urochloa decumbens* cv. Basilisk; DHS: Sistema de Pastagem Intensiva sem Irrigação em Rotação com Alta Taxa de Lotação - *Megathyrus maximus* cv. Tanzânia; IHS: Sistema de Pastagem com Irrigação em Rotação com Alta Taxa de Lotação - *Megathyrus maximus* cv. Tanzânia com sobressemeadura de *Avena byzantina* e *Lolium. Multiflorum* para consumo durante o inverno. Primavera: 23/09 a 21/12; Verão 2020: 22/12 a 19/03; Outono 2020: 20/03 a 20/06; Inverno 2020: 20/06 a 22/09. Ano 1: 2019-2020; Ano 2: 2020-2021. EPM: erro padrão da média; MS: matéria seca; Kt: taxa de desaparecimento ruminal da MS; Kd: taxa de digestão ruminal da MS; Kp: taxa de passagem ruminal da MS. a: Intercepção da curva no tempo zero, solúvel em água e fração completamente degradável do componente nutritivo analisado deixando a bolsa de náilon rapidamente, %; b: Fração potencialmente degradável, %; A: Tempo 0 (fração potencialmente solúvel - *washing loss*); B: (a+b)-A (fração potencialmente fermentescível); DP: Degradabilidade potencial (a + b), %; DR: Degradabilidade Real; DE: Taxa de passagem a 2%, 5% e 8% por hora. Fonte: Lobo (2023)

Tabela 8.1 - Cinética ruminal: degradabilidade ruminal *in situ* da matéria seca em diferentes épocas do ano durante dois anos de coleta de dados (2019-2021)

| Tratamentos | Estação | Ano | PB | | | | | | | | |
|-----------------------------|--------------------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------------------|-------|--------------------|
| | | | a | b | DE | DE | DE | A | B | DP | DR |
| | | | (%) | (%) | (2%/h) | (5%/h) | (8%/h) | (%) | (%) | (%) | (%) |
| IHS | | | 47,16 | 32,99 | 68,61 | 61,99 | 58,71 | 47,28 | 32,87 ^{AB} | 80,15 | 64,23 |
| DHS | | | 31,59 | 35,35 | 49,24 | 42,45 | 39,55 | 41,70 | 25,25 ^B | 66,95 | 46,11 |
| DMS | | | 35,43 | 47,07 | 58,76 | 50,91 | 47,25 | 48,00 | 34,50 ^{AB} | 82,50 | 43,34 |
| DP | | | 25,89 | 76,06 | 58,45 | 47,74 | 42,73 | 46,75 | 55,20 ^A | 83,08 | 56,54 |
| LF | | | 23,66 | 46,74 | 54,41 | 45,39 | 40,76 | 51,67 | 18,72 ^B | 70,39 | 57,89 |
| | Primavera | | 47,75 | 34,80 | 70,62 | 63,40 | 59,72 | 49,42 | 33,13 | 82,55 | 68,82 ^A |
| | Verão | | 28,79 | 42,55 | 59,29 | 51,26 | 46,92 | 37,72 | 33,62 | 71,34 | 54,13 ^B |
| | Outono | | 35,57 | 37,33 | 60,51 | 53,12 | 49,21 | 48,12 | 24,77 | 72,90 | 49,35 ^B |
| | Inverno | | 18,87 | 75,89 | 41,15 | 31,01 | 27,34 | 53,05 | 41,71 | 79,67 | 42,19 ^B |
| | | 1 | 35,16 | 60,28 | 56,99 | 44,44 | 39,09 | 44,99 | 39,25 | 81,43 | 58,95 |
| | | 2 | 30,33 | 35,01 | 58,80 | 54,95 | 52,50 | 49,17 | 27,36 | 71,80 | 48,29 |
| | EPM | | 2,20 | 4,46 | 2,28 | 2,32 | 2,28 | 1,35 | 3,70 | 2,70 | 2,79 |
| | Média | | 32,75 | 47,64 | 57,89 | 49,70 | 45,80 | 47,08 | 33,31 | 76,45 | 54,41 |
| Probabilidades Estatísticas | | | | | | | | | | | |
| | Tratamento | | <,0001 | 0,055 | 0,139 | 0,322 | 0,342 | 0,059 | 0,037 | 0,246 | 0,162 |
| | Estação | | <,0001 | 0,001 | <,0001 | <,0001 | <,0001 | <,0001 | 0,511 | 0,056 | <,0001 |
| | Ano | | 0,059 | 0,049 | 0,209 | <,0001 | <,0001 | 0,013 | 0,001 | 0,001 | 0,001 |
| | Tratamento*Estação | | <,0001 | <,0001 | <,0001 | <,0001 | <,0001 | <,0001 | 0,554 | 0,352 | 0,355 |

DP: Sistema de Pastagem Extensiva em Solo Degradado - *Urochloa. brizantha* cv. Marandu e *Urochloa decumbens* cv. Basilisk; LF: Sistema de Pastagem Intensiva Sem Irrigação em Rotação Consorciada com floresta nativa do cerrado brasileiro (sistema silvipastoril) com Moderada Taxa de Lotação - *Urochloa decumbens* cv. Basilisk; DMS: Sistema de Pastagem Intensiva sem Irrigação em Rotação com Moderada Taxa de Lotação - *Urochloa brizantha* cv. Marandu e *Urochloa decumbens* cv. Basilisk; DHS: Sistema de Pastagem Intensiva sem Irrigação em Rotação com Alta Taxa de Lotação - *Megathyrsus maximus* cv. Tanzânia; IHS: Sistema de Pastagem com Irrigação em Rotação com Alta Taxa de Lotação - *Megathyrsus. maximus* cv. Tanzânia com sobressemeadura de *Avena byzantina* e *Lolium. Multiflorum* para consumo durante o inverno. Primavera: 23/09 a 21/12; Verão 2020: 22/12 a 19/03; Outono 2020: 20/03 a 20/06; Inverno 2020: 20/06 a 22/09. Ano 1: 2019-2020; Ano 2: 2020-2021. EPM: erro padrão da média; PB: proteína bruta; a: Intercepção da curva no tempo zero, solúvel em água e fração completamente degradável do componente nutritivo analisado deixando a bolsa de náilon rapidamente, %; b: Fração potencialmente degradável, %; A: Tempo 0 (fração potencialmente solúvel - *washing loss*); B: (a+b)-A (fração potencialmente fermentescível); DP: Degradabilidade potencial (a + b), %; DR: Degradabilidade Real; DE: Taxa de passagem a 2%, 5% e 8% por hora.

Fonte: Lobo (2023)

Tabela 8.2 - Cinética ruminal: degradabilidade ruminal *in situ* da matéria seca em diferentes épocas do ano durante dois anos de coleta de dados (2019-2021)

| Tratamentos | Estação | Ano | FDN | | | | | | | | |
|-----------------------------|--------------------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | | | a | b | DE | DE | DE | A | B | DP | DR |
| | | | (%) | (%) | (2%/h) | (5%/h) | (8%/h) | (%) | (%) | (%) | (%) |
| IHS | | | 30,24 | 43,19 | 57,94 | 50,02 | 45,73 | 39,41 | 34,02 | 73,43 | 54,13 |
| DHS | | | 23,41 | 44,49 | 47,39 | 38,44 | 34,29 | 29,95 | 37,95 | 67,90 | 47,06 |
| DMS | | | 25,27 | 42,75 | 50,95 | 42,02 | 37,79 | 43,11 | 24,91 | 68,01 | 45,27 |
| DP | | | 14,28 | 55,25 | 44,86 | 33,67 | 28,43 | 39,22 | 30,31 | 69,53 | 43,59 |
| LF | | | 10,10 | 68,26 | 49,91 | 37,30 | 31,41 | 45,71 | 31,69 | 75,47 ^A | 45,22 |
| | Primavera | | 31,63 | 46,74 | 64,18 | 54,13 | 48,74 | 41,91 | 36,46 ^A | 78,37 ^A | 62,16 ^A |
| | Verão | | 13,96 | 57,62 | 48,74 | 37,73 | 32,44 | 28,98 | 42,61 ^A | 71,58 ^A | 41,87 ^B |
| | Outono | | 20,36 | 40,33 | 48,41 | 39,97 | 35,52 | 36,43 | 24,27 ^B | 60,70 ^B | 44,50 ^B |
| | Inverno | | 16,68 | 58,46 | 39,52 | 29,33 | 25,43 | 50,61 | 23,76 ^B | 72,82 | 39,68 ^B |
| | | 1 | 18,01 | 55,14 | 51,41 | 43,21 | 38,10 | 35,40 | 36,99 | 76,78 | 58,64 |
| | | 2 | 23,31 | 46,44 | 49,02 | 37,37 | 32,96 | 43,56 | 26,56 | 64,95 | 35,47 |
| | EPM | | 1,80 | 2,25 | 1,65 | 1,74 | 1,73 | 1,54 | 1,87 | 1,67 | 2,51 |
| | Média | | 20,66 | 50,12 | 50,21 | 40,29 | 35,53 | 39,48 | 31,95 | 71,04 | 47,61 |
| Probabilidades Estatísticas | | | | | | | | | | | |
| | Tratamento | | 0,002 | 0,001 | 0,180 | 0,006 | 0,004 | <,0001 | 0,004 | 0,529 | 0,626 |
| | Estação | | <,0001 | 0,004 | <,0001 | <,0001 | <,0001 | <,0001 | <,0001 | <,0001 | <,0001 |
| | Ano | | 0,012 | <,0001 | 0,504 | 0,195 | 0,259 | <,0001 | <,0001 | <,0001 | <,0001 |
| | Tratamento*Estação | | <,0001 | 0,004 | <,0001 | 0,001 | 0,002 | 0,007 | 0,059 | 0,095 | 0,628 |

DP: Sistema de Pastagem Extensiva em Solo Degradado - *Urochloa. brizantha* cv. Marandu e *Urochloa decumbens* cv. Basilisk; LF: Sistema de Pastagem Intensiva Sem Irrigação em Rotação Consorciada com floresta nativa do cerrado brasileiro (sistema silvipastoril) com Moderada Taxa de Lotação - *Urochloa decumbens* cv. Basilisk; DMS: Sistema de Pastagem Intensiva sem Irrigação em Rotação com Moderada Taxa de Lotação - *Urochloa brizantha* cv. Marandu e *Urochloa decumbens* cv. Basilisk; DHS: Sistema de Pastagem Intensiva sem Irrigação em Rotação com Alta Taxa de Lotação - *Megathyrus maximus* cv. Tanzânia; IHS: Sistema de Pastagem com Irrigação em Rotação com Alta Taxa de Lotação - *Megathyrus. maximus* cv. Tanzânia com sobressemeadura de *Avena byzantina* e *Lolium. Multiflorum* para consumo durante o inverno. Primavera: 23/09 a 21/12; Verão 2020: 22/12 a 19/03; Outono 2020: 20/03 a 20/06; Inverno 2020: 20/06 a 22/09. Ano 1: 2019-2020; Ano 2: 2020-2021. EPM: erro padrão da média; FDN: fibra em detergente neutro; a: Intercepção da curva no tempo zero, solúvel em água e fração completamente degradável do componente nutritivo analisado deixando a bolsa de náilon rapidamente, %; b: Fração potencialmente degradável, %; A: Tempo 0 (fração potencialmente solúvel - *washing loss*) ; B: (a+b)-A (fração potencialmente fermentescível); DP: Degradabilidade potencial (a + b), %; DR: Degradabilidade Real; DE: Taxa de passagem a 2%, 5% e 8% por hora. Fonte: Lobo (2023)

Nas tabelas 8, 8.1 e 8.2, apresenta-se o comportamento dos dados de cinética ruminal.

No que se refere às taxas de desaparecimento ruminal da MS (Kt), houve interação entre tratamento e interação e ano 2 (7,55 %hora⁻¹) teve taxa mais rápida que ano 1 (6,92 %hora⁻¹); para taxa de digestão ruminal da MS (Kd), houve diferença entre tratamentos com LF (6,48 %hora⁻¹) tendo taxa mais rápida seguida do IHS (5,20 %hora⁻¹), estação, sendo no inverno (5,91 %hora⁻¹) e na primavera (5,87 %hora⁻¹) as taxas mais rápidas e ano com ano 2 (5,81) apresentando a mais rápida taxa; e taxa de passagem ruminal da MS (Kp), onde há diferença entre tratamento com DMS (3,70 %hora⁻¹), IHS (3,60%hora⁻¹), DHS (3,50 %hora⁻¹) e DP (2,40 %hora⁻¹) possuindo taxas mais rápidas de degradação em relação ao LF (0,31 %hora⁻¹) sendo este igual apenas a DP; e ano, apresentando taxa mais rápida no ano 1 (4,02 %hora⁻¹) em relação ao ano 2 (1,40 %hora⁻¹).

As interações significativas ($P < 0,05$) entre tratamentos e estações do ano para as variáveis de degradabilidade foram desdobradas e mostradas em gráficos e a porcentagem de MS, PB e FDN degradadas em diferentes tempos estão demonstradas em forma de gráficos (APÊNDICE C)

Na Tabela 9, estão os dados de estimativa de energia liberada no trato gastrointestinal dos animais experimentais.

A energia liberada na forma de acetato no ano 1 (3,34 Mcal/kg.PV) em relação ao ano 2 (1,94 Mcal/kg.PV) foi maior. Para propiônico houve diferença entre as estações a qual foi menor para primavera (0,53 Mcal/kg.PV) e verão (0,73 Mcal/kg.PV) e maior para outono (0,97 Mcal/kg.PV) e inverno (1,6 Mcal/kg.PV), sendo aqueles e estes iguais entre si; no ano 1 (1,27 Mcal/kg.PV) foi maior que no ano 2 (0,65 Mcal/kg.PV). Em relação ao butirato, houve diferença entre as estações a qual foi menor para primavera (0,49 Mcal/kg.PV) e verão (0,69 Mcal/kg.PV) e maior para outono (0,81 Mcal/kg.PV) e inverno (1,35 Mcal/kg.PV), sendo primavera igual a verão, verão igual a outono e outono igual a inverno; o ano 1 (0,98 Mcal/kg.PV) foi maior que no ano 2 (0,68 Mcal/kg.PV).

Para a variável AGCC total, na primavera (2,92 Mcal/kg.PV) e no verão (3,70 Mcal/kg.PV) houve mais energia liberada em relação outono (3,92 Mcal/kg.PV) e inverno (7,30 Mcal/kg.PV), estas se igualando estatisticamente e primavera (2,96 Mcal/kg.PV) e verão (3,69 Mcal/kg.PV), também; como complemento, o valor do ano 1 (5,79 Mcal/kg.PV) foi maior que ano 2 (3,15 Mcal/kg.PV). No metano houve diferença entre estações e ano. O primeiro ano

(0,26 Mcal/kg.PV) foi maior que o segundo ano (0,11 Mcal/kg.PV); Na primavera ou maior liberação de energia em relação às demais estações as quais foram iguais entre si.

É impreterível destacar a diferença entre tratamentos para a EB e ED, em que para EB, os valores foram maiores no DHS o qual foi igual ao IHS e diferenciou-se nos demais tratamentos. Para ED, no tratamento DHS teve maior liberação em relação aos demais.

A energia liberada no intestino diferenciou-se entre os tratamentos e ano; IHS (27,03 Mcal/kg.PV), DMS (25,05 Mcal/kg.PV), DP (26,85 Mcal/kg.PV) e LF (27,55 Mcal/kg.PV) tiveram uma menor energia liberada em relação a DHS (19,28 Mcal/kg.PV), o qual teve uma maior liberação de energia; e o ano 2 (31,47 Mcal/kg.PV) também foi maior que o ano 1 (18,83 Mcal/kg.PV) em termos desta variável. Relativamente, a energia liberada nas fezes para o primeiro ano (9,39 Mcal/kg.PV) houve menor liberação em relação ao segundo ano experimental (11,63 Mcal/kg.PV).

Tabela 9 - Estimativa da energia liberada no trato gastrintestinal de animais Nelore fistulados durante dois anos experimentais (2019-2021)

| Tratamentos | Estação | Ano | Massa Ruminal | CEB | Energia liberada no Rúmen | | | | | | | | |
|-----------------------------|--------------------|-----|---------------|------------|---------------------------|--------|--------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | | | g/kg PV | Mcal/kg PV | Acético | | | Propiônico | | | Butírico | | |
| | | | | | Mcal/kg PV | EB, % | ED, % | Mcal/kg PV | EB, % | ED, % | Mcal/kg PV | EB, % | ED, % |
| IHS | | | 11,76 | 43,96 | 3,52 | 7,80 | 10,33 | 1,20 | 2,66 | 3,34 | 1,06 | 2,34 | 3,02 |
| DHS | | | 12,38 | 34,25 | 2,75 | 8,41 | 11,99 | 0,89 | 2,77 | 3,96 | 0,88 | 2,59 | 3,90 |
| DMS | | | 12,14 | 41,26 | 2,21 | 5,49 | 7,51 | 0,89 | 2,23 | 3,04 | 0,64 | 1,60 | 2,21 |
| DP | | | 12,89 | 40,31 | 2,00 | 5,84 | 7,97 | 0,72 | 2,17 | 3,03 | 0,71 | 2,08 | 2,88 |
| LF | | | 13,15 | 42,51 | 2,74 | 7,81 | 10,81 | 1,09 | 3,15 | 4,33 | 0,88 | 2,32 | 3,21 |
| | Primavera | | 12,1 | 39,29 | 1,79 | 5,01 | 6,09 ^B | 0,53 ^B | 1,52 ^B | 1,63 ^C | 0,49 ^C | 1,28 ^C | 1,63 ^C |
| | Verão | | 11,36 | 40,67 | 2,28 | 6,34 | 9,16 ^{AB} | 0,73 ^B | 1,99 ^B | 2,85 ^B | 0,69 ^{BC} | 1,88 ^{BC} | 2,69 ^B |
| | Outono | | 12,96 | 41,65 | 2,14 | 6,16 | 9,09 ^{AB} | 0,98 ^A | 2,80 ^A | 4,10 ^{AB} | 0,81 ^{AB} | 2,16 ^{AB} | 3,21 ^{AB} |
| | Inverno | | 13,44 | 40,21 | 4,37 | 10,77 | 14,54 ^A | 1,59 ^A | 4,08 ^A | 5,57 ^A | 1,35 ^A | 3,41 ^A | 4,64 ^A |
| | | 1 | 12,48 | 36,07 | 3,35 | 9,58 | 12,72 | 1,27 | 3,65 | 4,54 | 0,98 | 2,80 | 3,84 |
| | | 2 | 12,44 | 44,84 | 1,94 | 4,56 | 6,72 | 0,65 | 1,55 | 2,53 | 0,69 | 1,57 | 2,25 |
| | EPM | | 0,21 | 1,04 | 0,30 | 0,69 | 0,98 | 0,10 | 0,24 | 0,36 | 0,08 | 0,21 | 0,30 |
| | Média | | 12,46 | 40,17 | 2,65 | 7,09 | 9,84 | 0,97 | 2,63 | 3,69 | 0,84 | 2,20 | 3,09 |
| Probabilidades Estatísticas | | | | | | | | | | | | | |
| | Tratamento | | 0,1338 | 0,066 | 0,527 | 0,529 | 0,433 | 0,449 | 0,485 | 0,429 | 0,457 | 0,429 | 0,246 |
| | Estação | | <,0001 | 0,097 | 0,097 | 0,078 | 0,004 | <,0001 | 0,001 | <,0001 | 0,004 | 0,001 | <,0001 |
| | Ano | | 0,8891 | <,0001 | <,0001 | <,0001 | <,0001 | <,0001 | <,0001 | 0,000 | 0,002 | <,0001 | <,0001 |
| | Tratamento*Estação | | 0,0173 | <,0001 | 0,540 | 0,618 | 0,220 | 0,920 | 0,860 | 0,435 | 0,766 | 0,518 | 0,293 |

DP: Sistema de Pastagem Extensiva em Solo Degradado - *Urochloa. brizantha* cv. Marandu e *Urochloa decumbens* cv. Basilisk; LF: Sistema de Pastagem Intensiva Sem Irrigação em Rotação Consorciada com floresta nativa do cerrado brasileiro (sistema silvipastoril) com Moderada Taxa de Lotação - *Urochloa decumbens* cv. Basilisk; DMS: Sistema de Pastagem Intensiva sem Irrigação em Rotação com Moderada Taxa de Lotação - *Urochloa brizantha* cv. Marandu e *Urochloa decumbens* cv. Basilisk; DHS: Sistema de Pastagem Intensiva sem Irrigação em Rotação com Alta Taxa de Lotação - *Megathyrsus maximus* cv. Tanzânia; IHS: Sistema de Pastagem com Irrigação em Rotação com Alta Taxa de Lotação - *Megathyrsus. maximus* cv. Tanzânia com sobressemeadura de *Avena byzantina* e *Lolium. Multiflorum* para consumo durante o inverno. Primavera: 23/09 a 21/12; Verão 2020: 22/12 a 19/03; Outono 2020: 20/03 a 20/06; Inverno 2020: 20/06 a 22/09. Ano 1: 2019-2020; Ano 2: 2020-2021. EPM: erro padrão da média; CEB: consumo de energia bruta; EB: energia bruta; ED: energia digestível; PV: peso vivo. Fonte: Lobo (2023)

As interações do balanço de energia são demonstradas, em forma de gráficos, no APÊNDICE D.

Os resultados de emissão de metano entérico e sua relação com as variáveis estudadas estão descritos na Tabela 10. As variáveis relacionadas ao metano entérico apresentam diferença entre ano experimental ($P < 0,0001$), sendo maior para o primeiro ano experimental comparado com o segundo ano para as variáveis CH_4_GD ($P < 0,0001$), CH_4_KGA ($P < 0,0001$), CH_4_PVMet ($P = 0,0323$), CH_4_FDN ($P < 0,0001$), $CH_4_HA_ANO$ ($P < 0,0001$), CH_4_CMS ($P = 0,0045$), EB_CH_4 ($P < 0,0001$), exceto para as variáveis expressas em CH_4_MSD , CH_4_GMD e CH_4_PV que estatisticamente foram iguais $P > 0,05$ nos dois anos de estudo, e, para YM ($P = 0,0002$), onde no ano 2 a perda energética na forma de metano foi maior em relação ao ano 1.

A emissão de metano por ganho de peso médio diário dos animais (CH_4_GMD) sofreu influência dos tratamentos e das estações do ano ($P < 0,05$), o tratamento LF diferiu se dos demais com maior emissão de metano por ganho médio diário ($4032,17 \text{ g/kg.dia}^{-1}$), seguido do DP ($2405,16 \text{ g/kg.dia}^{-1}$), DHS ($681,83 \text{ g/kg.dia}^{-1}$) e DMS ($579,16 \text{ g/kg.dia}^{-1}$) que foram estatisticamente iguais e IHS ($365,26 \text{ g/kg.dia}^{-1}$) obteve a menor emissão de metano por ganho em relação aos demais. A elevada emissão de metano por GMD foi observada no inverno, média durante o outono e baixa na primavera e verão. Para as variáveis $CH_4_UA_HA_ANO$ e $CH_4_UA_HA_D$ houveram interações as quais são apresentadas na forma de gráficos (Gráficos 19 e 20).

Tabela 10 - Emissão de metano entérico (g/dia) e sua relação com diferentes variáveis durante dois anos de coleta de dados (2019-2021)

| Tratamentos | Estação | Ano | CH4_GD | CH4_KGA | CH4_PVMet | CH4_FDN | CH4_UA_HA_ANO | CH4_UA_HA_D | CH4_HA_ANO | CH4_MSD | CH4_CMS | CH4_GMD | CH4_PV | EB_I | EB_CH4 | YM |
|-------------|-----------|-----|--------|---------|-------------------|---------|---------------|-------------|------------|---------|---------|----------------------|-------------------|--------|--------|------|
| IHS | | | 286,32 | 104,50 | 2,69 | 4,66 | 24,26 | 66,47 | 59,72 | 48,09 | 29,67 | 365,26 ^D | 0,57 | 411,82 | 15,92 | 4,56 |
| DHS | | | 266,35 | 97,22 | 2,52 | 4,01 | 28,67 | 78,55 | 55,55 | 49,85 | 29,55 | 681,83 ^C | 0,53 | 325,81 | 14,81 | 4,87 |
| DMS | | | 258,61 | 91,56 | 2,39 | 3,63 | 35,61 | 97,51 | 27,75 | 44,78 | 29,19 | 579,16 ^C | 0,51 | 314,65 | 13,95 | 4,62 |
| DP | | | 230,40 | 82,66 | 2,37 | 3,35 | 35,68 | 97,77 | 25,02 | 48,46 | 29,42 | 2405,16 ^B | 0,52 | 250,37 | 12,59 | 5,11 |
| LF | | | 232,06 | 84,69 | 2,44 | 3,55 | 41,94 | 117,13 | 25,58 | 47,61 | 29,37 | 4032,17 ^A | 0,53 | 274,55 | 12,90 | 4,94 |
| | Primavera | | 215,01 | 78,48 | 2,40 ^B | 3,33 | 36,29 | 99,47 | 33,03 | 44,55 | 28,98 | 364,32 ^C | 0,54 ^B | 226,32 | 11,95 | 5,32 |
| | Verão | | 268,66 | 98,04 | 2,71 ^A | 4,20 | 26,28 | 72,09 | 40,72 | 45,69 | 31,44 | 402,40 ^C | 0,59 ^A | 309,50 | 14,94 | 5,06 |
| | Outono | | 266,97 | 94,05 | 2,40 ^B | 3,86 | 28,38 | 79,33 | 40,30 | 46,38 | 28,23 | 1522,14 ^B | 0,51 ^B | 338,08 | 14,33 | 4,30 |
| | Inverno | | 268,35 | 97,95 | 2,41 ^B | 3,97 | 41,98 | 115,05 | 40,85 | 54,41 | 29,11 | 4162,01 ^A | 0,50 ^B | 387,87 | 14,92 | 4,59 |
| | | 1 | 287,13 | 103,90 | 2,57 | 4,31 | 33,66 | 94,05 | 41,67 | 47,96 | 30,45 | 1679,99 | 0,54 | 374,48 | 15,82 | 4,42 |
| | | 2 | 222,37 | 80,40 | 2,39 | 3,38 | 32,81 | 88,93 | 35,78 | 47,56 | 28,43 | 1545,44 | 0,53 | 256,40 | 12,24 | 5,22 |
| EPM | | | 4,73 | 1,85 | 0,04 | 0,09 | 0,96 | 2,64 | 1,46 | 1,12 | 0,53 | 411,85 | 0,01 | 10,53 | 0,28 | 0,12 |
| Média | | | 254,44 | 91,84 | 2,48 | 3,83 | 33,07 | 90,95 | 39,01 | 47,79 | 29,38 | 11,92 | 0,53 | 315,44 | 13,99 | 4,83 |

Probabilidades Estatísticas

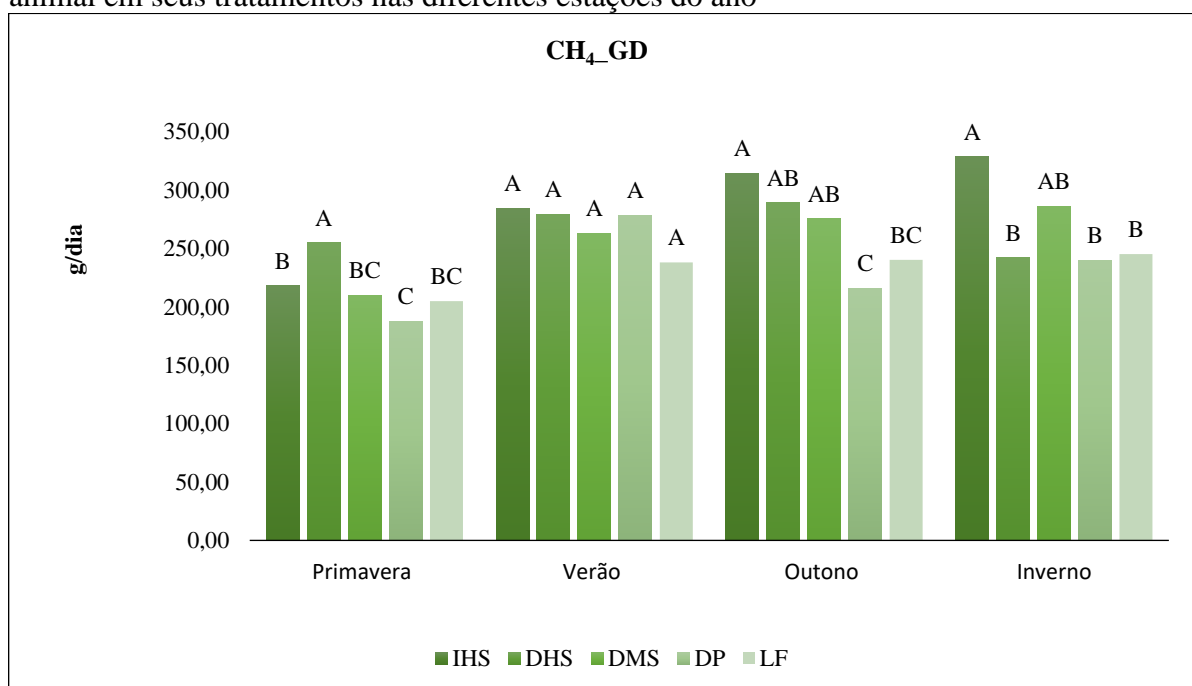
| | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| Tratamento | 0,009 | 0,008 | 0,127 | <,0001 | <,0001 | <,0001 | <,0001 | 0,563 | 0,999 | 0,040 | 0,185 | <,0001 | 0,008 | 0,469 |
| Estação | <,0001 | <,0001 | 0,011 | <,0001 | <,0001 | 0,048 | <,0001 | 0,001 | 0,181 | 0,049 | 0,002 | <,0001 | <,0001 | 0,001 |
| Ano | <,0001 | <,0001 | 0,032 | <,0001 | 0,313 | <,0001 | <,0001 | 0,803 | 0,038 | 0,106 | 0,794 | <,0001 | <,0001 | <,0001 |
| Tratamento*Estação | 0,004 | 0,011 | 0,086 | <,0001 | <,0001 | 0,001 | 0,001 | <,0001 | 0,005 | 0,661 | 0,125 | <,0001 | 0,011 | <,0001 |

DP: Sistema de Pastagem Extensiva em Solo Degradado - *Urochloa, brizantha* cv, Marandu e *Urochloa decumbens* cv, Basilisk; LF: Sistema de Pastagem Intensiva Sem Irrigação em Rotação Consorciada com floresta nativa do cerrado brasileiro (sistema silvipastoril) com Moderada Taxa de Lotação - *Urochloa decumbens* cv, Basilisk; DMS: Sistema de Pastagem Intensiva sem Irrigação em Rotação com Moderada Taxa de Lotação - *Urochloa brizantha* cv, Marandu e *Urochloa decumbens* cv, Basilisk; DHS: Sistema de Pastagem Intensiva sem Irrigação em Rotação com Alta Taxa de Lotação - *Megathyrus maximus* cv, Tanzânia; IHS: Sistema de Pastagem com Irrigação em Rotação com Alta Taxa de Lotação - *Megathyrus, maximus* cv, Tanzânia com sobresemeadura de *Avena byzantina* e *Lolium, Multiflorum* para consumo durante o inverno, Primavera: 23/09 a 21/12; Verão 2020: 22/12 a 19/03; Outono 2020: 20/03 a 20/06; Inverno 2020: 20/06 a 22/09, Ano 1: 2019-2020; Ano 2: 2020-2021, EPM: erro padrão da média; CH4_GD (g/,dia): emissão de metano; CH4_KGA (kg/ano): emissão de metano; CH4_PVMet (g/kg,dia): emissão de metano (g/,dia) por peso vivo metabólico; CH4_FDN (g/%) : emissão de metano (g/,dia) por fibra em detergente neutro; CH4_HA_ANO (g/,dia): emissão de metano (g/,dia) por hectare ; CH4_UA_HA_ANO (kg/unidade animal/hectare.ano); CH4_UA_HA_D (g/UA): emissão de metano (g/,dia) por unidade animal por hectare CH4_MSD (g/%) : emissão de metano (g/,dia) por matéria seca digestível; CH4_CMS (g/kg,dia): emissão de metano (g/,dia) por consumo de matéria seca; CH4_GMD (g/kg): emissão de metano (g/,dia) por ganho de peso médio diário; CH4_PV (g/kg,dia): emissão de metano (g/,dia) por peso vivo médio; EB_I (Mcal/dia): energia bruta ingerida; EB_CH4 (g/Mcal/dia): emissão de metano em Mcal CH4/animal/,dia; YM (%):energia bruta perdida na forma de metano. UA: unidade animal equivalente a 450 kg. Fonte: Lobo (2023)

As interações significativas entre tratamento e estações (Tabela 10) foram desdobradas e apresentadas em forma de gráficos (11 a 20).

Na primavera, os animais que estavam no tratamento DHS (254,83) emitiram mais metano em g/dia comparado aos demais, os tratamentos DMS (209,69), IHS (218,13) e LF (204,75); DMS, DP (187,67) e LF foram estatisticamente iguais e observou-se uma menor emissão de metano por ganho nesses tratamentos em relação ao DHS. No verão, a emissão de metano por ganho foi estatisticamente igual entre todos os tratamentos. No outono, os animais dos tratamentos DHS (288,98), DMS (275,49) e IHS (314,32); DHS, DMS e LF (240,32) foram iguais estatisticamente, sendo a menor taxa de emissão de metano por ganho no tratamento DP (215,72). No inverno, a emissão de metano por ganho foi elevada no tratamento IHS em relação aos demais (Gráfico 11).

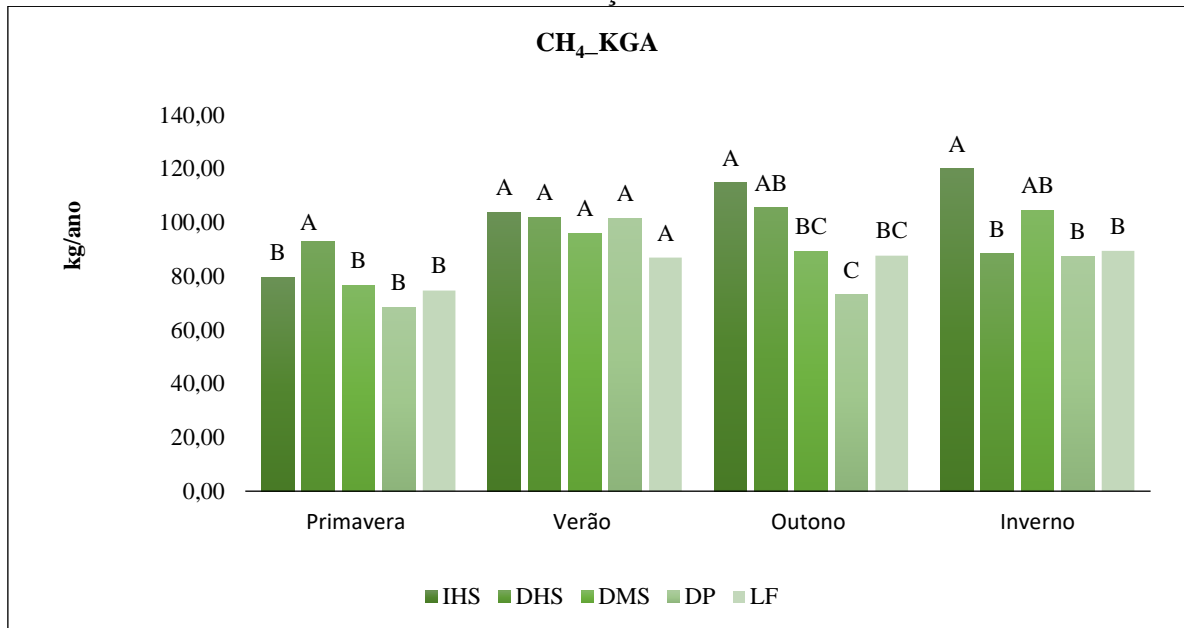
Gráfico 11 - Interação entre tratamento e estação: variável emissão de metano, em g/dia, por animal em seus tratamentos nas diferentes estações do ano



Fonte: Lobo (2023)

Quando expressa em produção de metano em quilogramas por ano, observamos que na primavera a emissão foi maior no tratamento DHS (93,02) em comparação aos demais. No verão, a emissão de metano anual foi estatisticamente igual entre todos os tratamentos. No outono, a produção anual de metano dos tratamentos DHS (105,48) e IHS (114,73) (elevada produção); DMS (89,24) e LF (87,71) (média produção) foram iguais estatisticamente, sendo a menor produção de metano por ano no tratamento DP (73,07). No inverno, a emissão de metano por ano foi elevada no tratamento IHS (119,95) em relação aos demais (Gráfico 12).

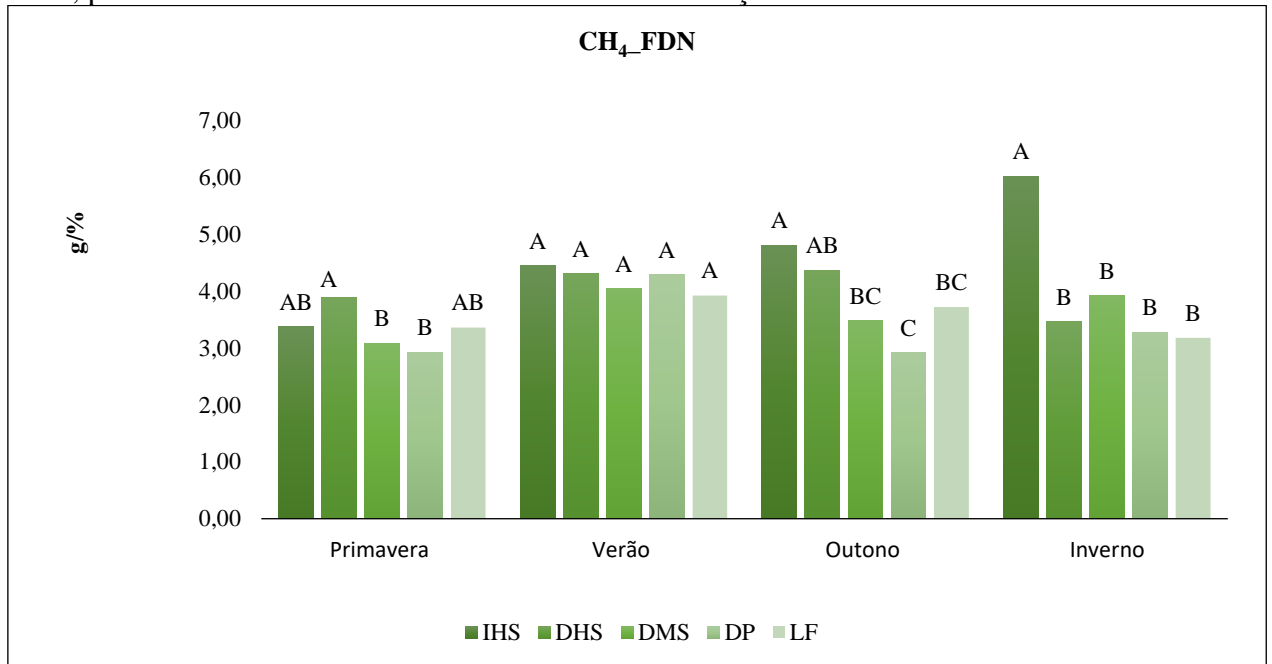
Gráfico 12 - Interação entre tratamento e estação: variável emissão de metano, em kg/ano, por animal em seus tratamentos nas diferentes estações do ano



Fonte: Lobo (2023)

Quando expressa em produção de metano por percentual de FDN ingerido, observa-se que na primavera a emissão foi maior no tratamento DHS (3,89) em comparação aos demais. No verão, os animais do tratamento IHS (4,45) tiveram elevada emissão de metano por percentual de FDN consumido. No outono, os tratamentos DHS (4,37) e IHS (4,81) (elevada produção); DMS (3,48) e LF (3,72) (média produção) foram iguais estatisticamente, sendo a menor produção de metano por percentual de FDN no tratamento DP (2,92). No inverno, a emissão de metano foi mais elevada no tratamento IHS (6,02) em relação aos demais (Gráfico 13).

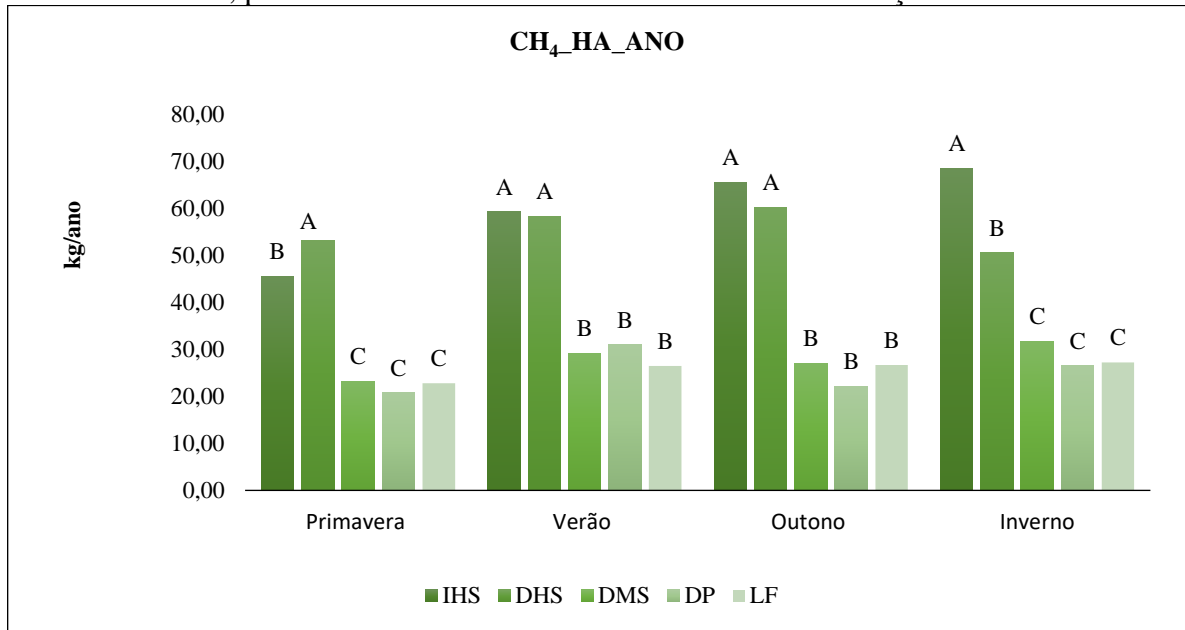
Gráfico 13 - Interação entre tratamento e estação: variável emissão de metano, em g de CH₄/% de FDN, por animal em seus tratamentos nas diferentes estações do ano



Fonte: Lobo (2023)

Na produção de metano expressa em hectares por ano, observamos que na primavera a emissão foi maior no tratamento DHS (53,16, seguida do IHS 45,50 e menor nos demais. No verão e outono, os tratamentos DHS (58,28 e 60,27) e IHS (59,28 e 65,56) tiveram elevada emissão de metano em relação aos demais. No inverno, a emissão de metano foi elevada no tratamento IHS (68,54), baixa no tratamento DP (26,53) e média nos demais (Gráfico 14).

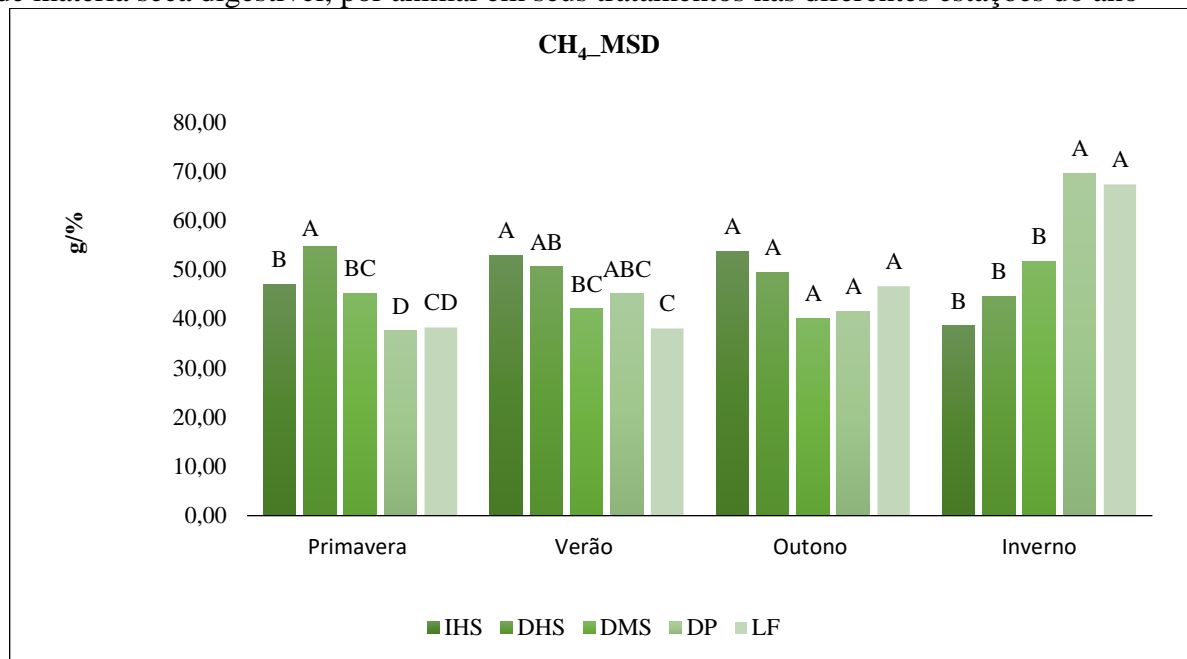
Gráfico 14 - Interação entre tratamento e estação: variável emissão de metano, em kg de CH₄/ano/hectare, por animal em seus tratamentos nas diferentes estações do ano



Fonte: Lobo (2023)

Significativa interação entre tratamentos e estações do ano foi observada para a variável metano por percentual de matéria seca digestível ($P < 0,05$). Na primavera, a emissão foi maior no tratamento DHS (54,65), seguida do DMS (45,20) e IHS (47,04) e menor nos demais. No verão, os tratamentos DHS (50,62) e IHS (52,96) tiveram elevada emissão de metano em relação aos demais. No outono, os tratamentos não diferiram entre si nas estações. No inverno, a emissão de metano foi elevada nos tratamentos DP (69,61) e LF (67,31) comparados aos demais (Gráfico 15).

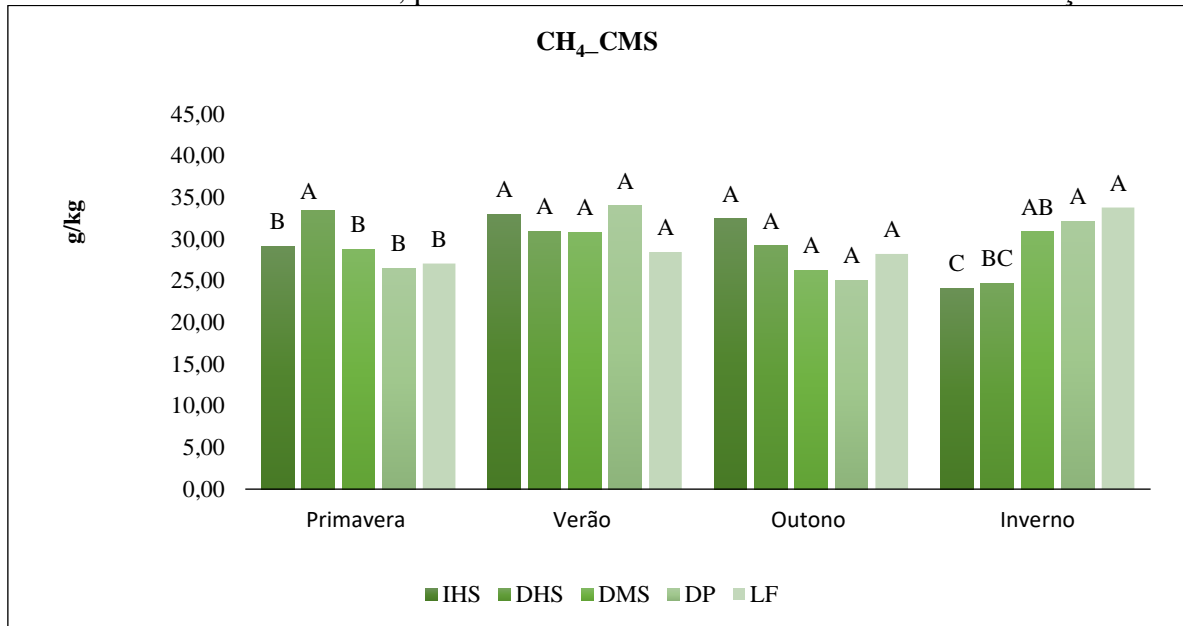
Gráfico 15 - Interação entre tratamento e estação: variável emissão de metano, em g de CH₄/% de matéria seca digestível, por animal em seus tratamentos nas diferentes estações do ano



Fonte: Lobo (2023)

No Gráfico 16, significativa interação entre tratamentos e estações do ano foi desdobrada para a variável metano por consumo de matéria seca ($P < 0,05$). Na primavera, a emissão foi maior pelos animais do tratamento DHS (33,43). No verão e outono, os tratamentos não se diferiram entre si nas estações. No inverno, a emissão de metano foi elevada nos tratamentos DMS (30,86), DP (32,13) e LF (33,76) comparados aos demais.

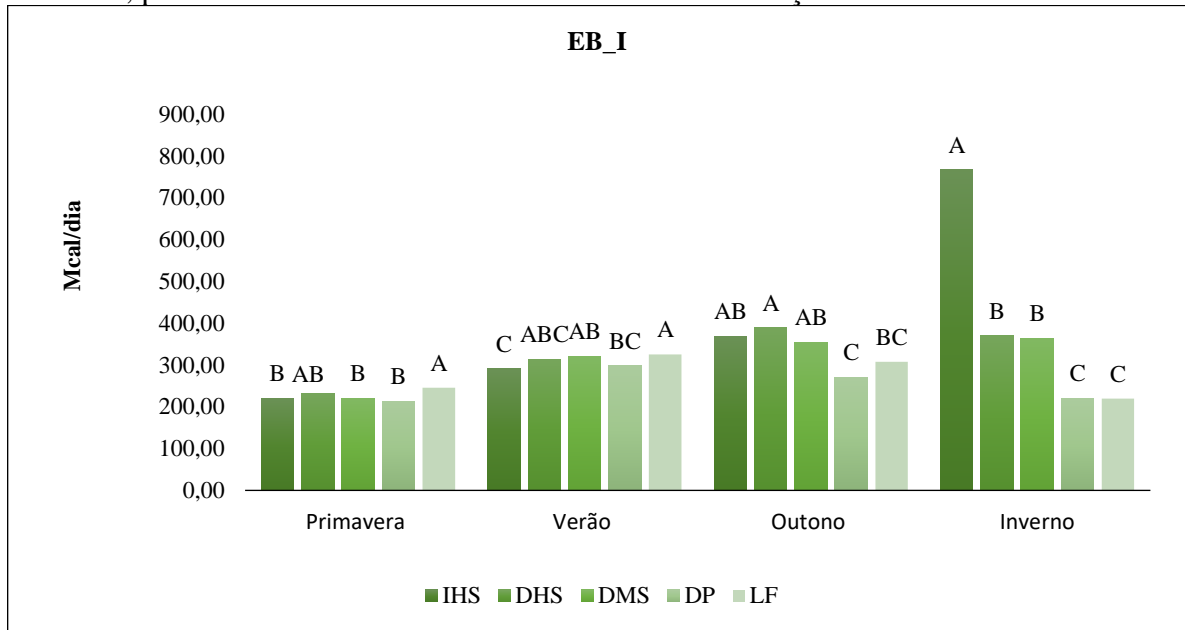
Gráfico 16 - Interação entre tratamento e estação: variável emissão de metano, em g de CH₄/consumo de matéria seca, por animal em seus tratamentos nas diferentes estações do ano



Fonte: Lobo (2023)

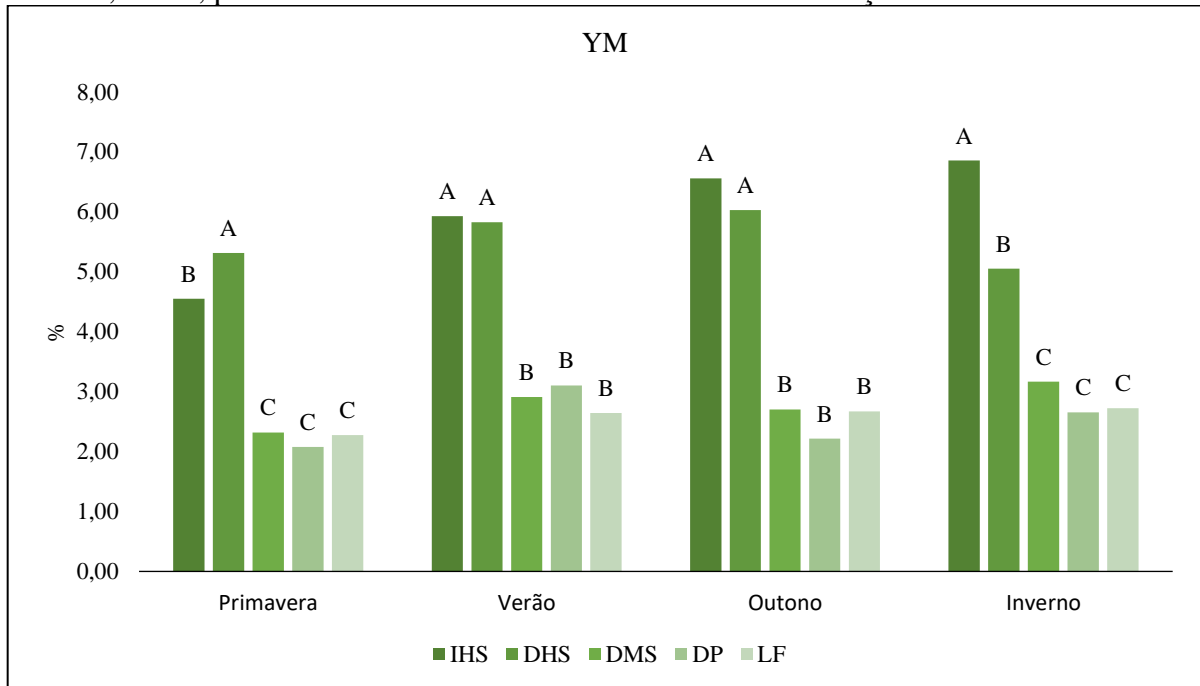
Significativa interação entre tratamentos e estações do ano foi observada para a variável energia bruta ingerida ($P < 0,05$). Na primavera, os animais do tratamento LF 245,36 ingeriram um maior teor de EB em relação aos animais dos demais tratamentos. No verão, os animais dos tratamentos DHS (313,34), DMS (320,30) e IHS (290,72) tiveram elevado consumo de EB, seguido de médio consumo no DP (297,74) e baixo no IHS (290,72). No outono, os tratamentos DHS (388,59), DMS (354,57) e IHS (368,70); DMS, IHS e LF (308,04) não diferiram entre si nas estações, e os animais do tratamento DP (270,49) ingeriram menor teor de EB em relação aos outros. No inverno, o maior consumo de EB foi para os animais do tratamento IHS (766,92), seguido dos tratamentos DHS (369,47) e DMS (363,51), DP (220,04) e LF (219,39) foram os tratamentos que proporcionaram menor ingestão de EB, (Gráfico 17).

Gráfico 17 - Interação entre tratamento e estação: variável energia bruta ingerida, em Mcal/dia, por animal em seus tratamentos nas diferentes estações do ano



Em relação a energia bruta perdida na forma de metano, observamos que na primavera a perda foi maior no tratamento DHS (5,32%), seguida do IHS (4,55%) e menor nos demais, como DMS (2,32%), DP (2,08%) e LF (2,28%). No verão e outono, os tratamentos DHS (5,83% e 6,03%) e IHS (5,93% e 6,56%) tiveram elevada perda de energia por metano em relação aos demais DMS (2,91% e 2,70%), DP (3,10% e 2,21%) e LF (2,64% e 2,67%). No inverno, a perda de energia foi elevada no tratamento IHS (6,85%), baixa no tratamento DP (2,65%) e média nos demais DHS (5,05%), DMS (3,16%) e LF (2,72%) (Gráfico 18).

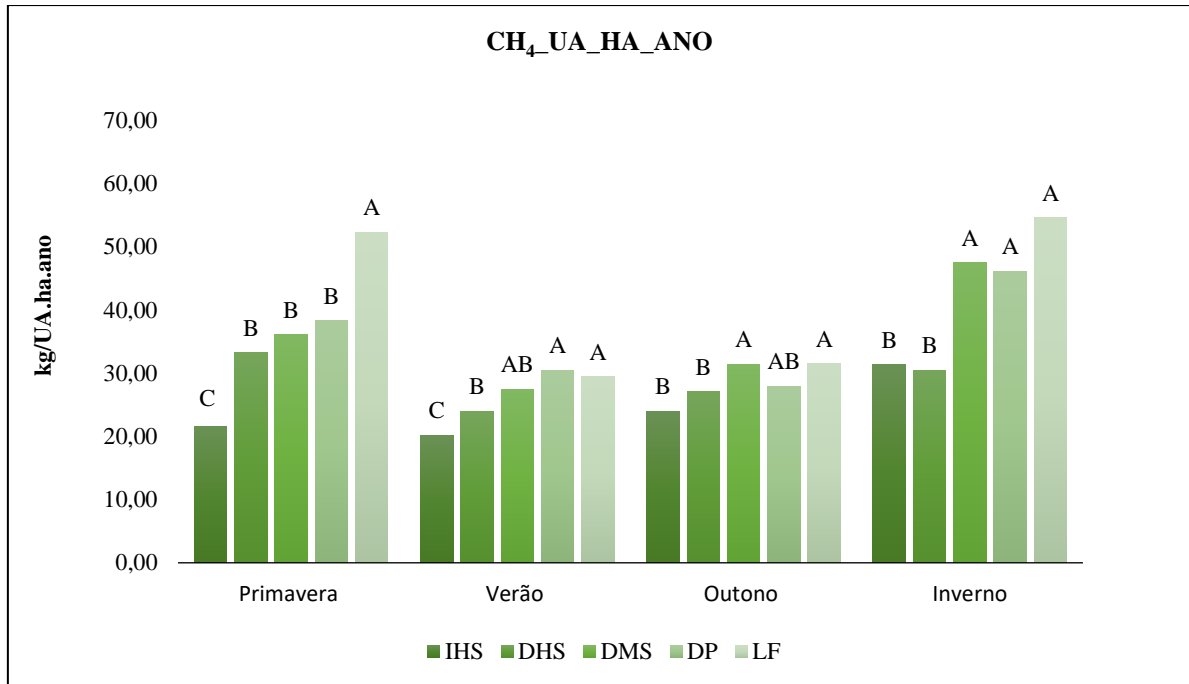
Gráfico 18 - Interação entre tratamento e estação: variável energia bruta perdida na forma de metano, em %, por animal em seus tratamentos nas diferentes estações do ano



Fonte: Lobo (2023)

Para a variável $\text{kgCH}_4/\text{UA.ha.ano}^{-1}$, durante a primavera houve dois extremos, onde LF (52,24) aparece com maior valor e IHS (21,63), menor. Bem como há valores também intermediários e iguais entre si como para o DHS (33,22), DMS (36,10) e DP (38,26). No verão, há valores maiores para DMS (27,44), DP (30,44) e LF (29,44) sendo estes iguais entre si, sendo os tratamentos DHS (23,94) e DMS (27,44) também iguais entre si e IHS (20,14) aparece como melhor valor para a variável, diferenciando dos demais tratamentos. Durante o outono, os tratamentos IHS (23,95), DHS (27,05) e DP (27,96) obtiveram menores médias e foram iguais, porém DP também se igualou a DMS (31,42) e LF (31,50). Na estação inverno, há uma divisão de extremos, onde os tratamentos LF (54,56), DP (46,07) e DMS (47,47) possuem os maiores valores e também são iguais entre si, assim como IHS (31,32) e DHS (30,48), os quais são iguais entre si, possuindo os menores valores (Gráfico 19).

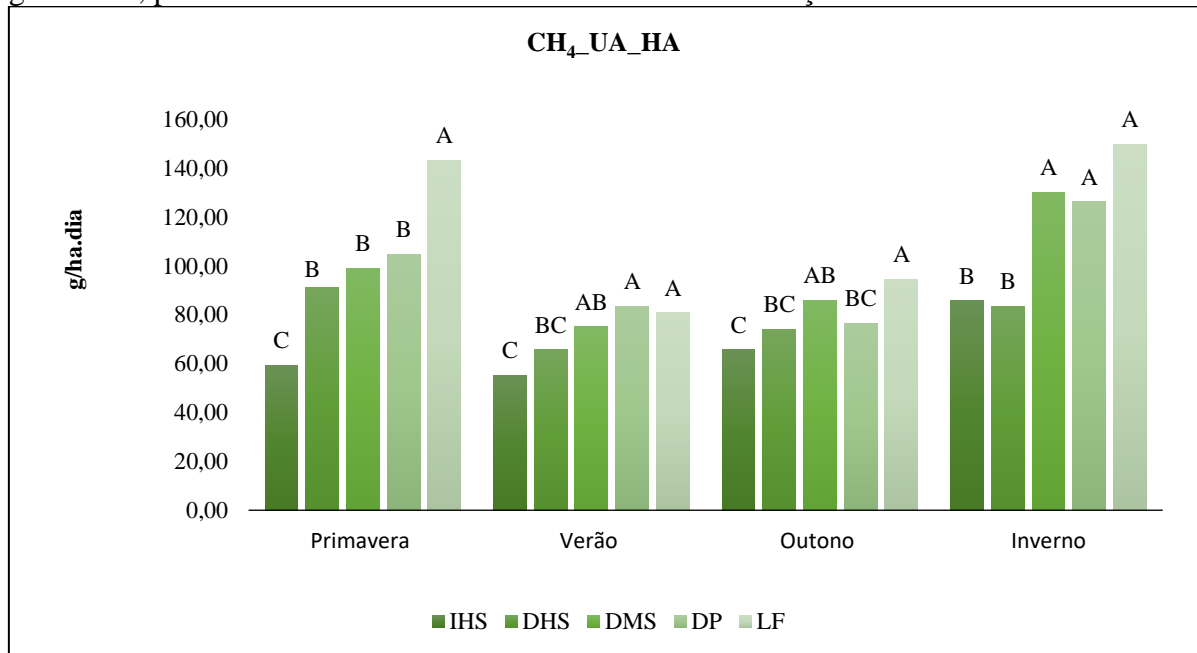
Gráfico 19 - Interação entre tratamento e estação: variável emissão de CH₄/unidade animal hectare ano, em kg/UA.ha.ano⁻¹, por animal em seus tratamentos nas diferentes estações do ano



Para a variável $gCH_4/UA.ha.dia^{-1}$, na estação primavera, a interpretação se iguala ao gráfico 19, houve dois extremos, onde LF (143,32) aparece com maior valor e IHS (59,8), menor. Bem como há valores também intermediários e iguais entre si como para o DHS (91,01), DMS (98,91) e DP (104,84). No verão, os tratamentos DMS (75,17), DP (83,60) e LF (80,88) são iguais entre si, apresentando os maiores valores, sendo o tratamento DMS igual ao DHS (65,60) e este igual ao IHS (55,19), tendo este o menor valor para a variável. Durante o outono, os tratamentos IHS (65,62) e LF (94,64) apresentam menores e maiores valores para a variável, respectivamente. Todavia, os valores nos tratamentos LF é igual ao DMS (85,88), que por sua vez se iguala a DHS (74,10) o qual é igual ao IHS e DP (76,41) para os valores da variável. Na estação inverno, a interpretação dos dados se assemelha ao gráfico 19, sendo que há uma divisão de extremos, onde os tratamentos LF (149,70), DP (126,21) e DMS (130,07) possuem os

maiores valores e também são iguais entre si, assim como IHS (85,80) e DHS (83,50), os quais são iguais entre si, possuindo os menores valores (Gráfico 20).

Gráfico 20 - Interação entre tratamento e estação: variável emissão de CH₄/hectare, em g/ha.dia-1, por animal em seus tratamentos nas diferentes estações do ano



8. Discussão

A composição bromatológica das pastagens tem influência sobre o consumo dos animais, baixos teores de frações indigestíveis e elevado teor de frações digestíveis tendem a otimizar o consumo e o desempenho animal, enquanto as frações indigestíveis, conferem o mecanismo de regulação física do consumo de forragens tropicais (LAZZARINI et al., 2009). Notou-se que neste estudo o consumo de matéria seca variou de 1,73 a 1,93% em relação ao peso vivo animal, o que influenciou diretamente o CMS foi a qualidade e oferta de forragem entre os sistemas e estações do ano. A piora na qualidade e/ou oferta de forragem implicou em aumento do consumo de suplemento pelos animais (Tabela 1).

O consumo foi influenciado também pela taxa de passagem ruminal, foi observada aumento na taxa de passagem e diminuição na taxa de degradação ruminal quando a qualidade da forragem era elevada (Tabela 8). Segundo Forbes (1995), a elevada taxa de passagem ruminal do alimento faz com que haja aumento no consumo, porém, a degradabilidade pode ser

reduzida devido ao menor tempo no trato digestivo. O fluxo de digesta pelo trato gastrintestinal é determinado pela taxa de passagem ruminal, que, no caso de forrageiras tropicais apresenta baixos valores, em razão, principalmente, do alto teor de fibra de baixa digestibilidade, ampliando o efeito de repleção ruminal (FERNANDES et al., 2003).

O CMS tem correlação com a massa de conteúdo ruminal (líquida, sólida e total), observa-se que animais que possuem alta massa de conteúdo ruminal (Tabela 3), tem menor CMS, devido a limitação física ruminal, diminuindo também a taxa de passagem e aumentando o tempo do alimento dentro do rúmen.

A proteína pode ser um fator limitante para os animais consumindo pasto. Segundo Detmann et al. (2014), o mínimo necessário de PB na dieta para que os microrganismos tenham condições de utilizar os substratos energéticos fibrosos é de 7%, assim, o consumo de forragem foi limitado por PB advinda da pastagem apenas no inverno em todos os sistemas, exceto no IHS, apresentando valor de proteína acima de 7% nas demais estações e sistemas (Tabela 1). O maior aporte de proteína degradada no rúmen pode ter potencializado o maior desenvolvimento das bactérias celulolíticas e com isso aumentado a degradabilidade da fibra do pasto na primavera em relação as demais estações (Tabelas 8.1 e 8.2).

O alimento que chega até o ambiente ruminal sofre alterações em função do processo de fermentação realizado pelos microrganismos do rúmen. As mudanças de pH ruminal ao longo do tempo e a permanência do alimento no rúmen, promove mudanças na microbiota ruminal e conseqüentemente nas concentrações de nitrogênio amoniacal ($N-NH_3$) e dos ácidos graxos de cadeia curta (AGCC), que são formados e absorvidos pelo epitélio ruminal.

Segundo Owens e Goetsch (1993), ao determinar o pH do fluido ruminal de animais alimentados com dietas ricas em concentrado, encontraram valores entre 5,5 a 6,0 e para os alimentados exclusivamente com volumoso, de 6,2 a 7,0. Em relação aos valores de pH encontrados neste trabalho, foram próximos àqueles preconizados por Owens e Goetsch (1993), estando estes entre 5,9 a 7,2 e permanecendo na maior parte do tempo entre 6,6 e 7,0 para os animais avaliados (Tabela 6).

O pH ruminal afeta a população microbiana, segundo Hoover (1986), valores de pH inferiores a 6,2 inibem a população de bactérias celulolíticas, reduzindo a degradação de carboidratos estruturais. Neste estudo, foi possível observar que a qualidade da forragem durante as estações do ano influenciou na fermentação ruminal, frações mais digestíveis, menos lignificadas, com teor elevado de carboidrato não estrutural, selecionam população de

microrganismos que produzem propionato como subproduto da fermentação, degradam mais rapidamente no rúmen, aumentando a produção de íons de hidrogênio pela fermentação microbiana e produção de AGCC (OWENS e GOETSCH, 1993), abaixando o pH e selecionando população de microrganismos resistentes.

Em relação aos protozoários, o gênero *Entodinium* prevalece, seguido do *Diplodiniinae*, *Dasytricha* e *Isotricha* (Tabela 7). Segundo Frazolin e Dehority (1996), a menor população de protozoários pode ser devido a redução do pH ruminal ou ao aumento da taxa de passagem. No presente estudo a população de protozoários não foi afetada negativamente pelo pH ruminal, observa-se uma correlação positiva entre a degradabilidade ruminal e as populações de protozoários de todos os gêneros, ou seja, o principal efeito de variações estacionais sobre os protozoários ciliados esteja relacionado à qualidade da forragem.

A presença de protozoários aumenta diretamente a digestão da celulose e hemicelulose (FONDEVILA e DEHORITY, 2000) e o principal efeito das variações estacionais sobre os protozoários ciliados está relacionado às modificações das características da vegetação e valor nutricional (MANELLA e LOURENÇO, 2004; MARTINELE et al., 2010). Ademais, o gênero *Entodinium* tem sido consistentemente observado como dominante em uma gama genética e geográfica diversificada de hospedeiros de ruminantes, havendo evidências de que o metabolismo do *Entodinium* está diretamente ligado a maior produção de CH₄ (ANDERSEN et al., 2022).

Os valores de acetato, propionato e butirato, os quais representam os ácidos graxos de cadeia curta predominantes em ambiente ruminal, não diferiram quanto aos sistemas utilizados. Em dieta predominantemente de pastagem, há colonização principalmente das bactérias celulolíticas e estas produzem principalmente acetato, quando se trata de metanogênicas (ALMEIDA et al., 2015; BERNDT et al., 2010). O grupo das bactérias celulolíticas é que confere aos bovinos a capacidade de sobreviverem em dietas exclusivas de forragens.

A proporção de cada ácido varia de acordo com a dieta do animal, porém, segundo Coelho da Silva e Leão (1979), o acetato varia de 54% a 74%, o propionato de 16 a 27% e o butirato de 6 a 15% no rúmen. Observou-se que o maior CMS (gramas de carboidrato fermentável no rúmen) influenciou na produção de AGCC total, mas não nas proporções dos mesmos (Tabelas 4 e 4.1). A maior proporção de propionato é benéfica, pois irá disponibilizar no rúmen quantidades menores de carbono e hidrogênio que seriam utilizados para produção de metano.

O N-NH_3 é substrato requerido pelos principais microrganismos ruminais fermentadores de carboidratos estruturais (VALADARES FILHO e PINA, 2011). Segundo Detmann et al. (2014), concentrações de N-NH_3 abaixo de 6,3mg/dL causam deficiência na fermentação ruminal e, valores inferiores a 5mg/dL causam queda na síntese de proteína microbiana (NRC, 2000). A fermentação ruminal e síntese de proteína microbiana não foram afetadas pela concentração de N-NH_3 se mantendo acima de 9 mg/dL em todos os sistemas e estações do ano (Tabela 5).

Os substratos fornecidos aos microrganismos metanogênicos do rúmen são advindos da dieta em que o animal está submetido (FREIRE, 2015). A produção de metano é responsável por cerca de 2 a 12% das perdas de energia dos alimentos, com maiores perdas em animais alimentados com forragem (IPCC, 2019). As variações nas emissões de metano se dão pela quantidade e qualidade de carboidratos fermentados no rúmen e o fornecimento de suplementos concentrados (IPCC, 2019).

A taxa de lotação, a qualidade e oferta de forragem influenciaram a produção de metano por área e por ganho (Tabela 10). Quando há forragem disponível, a taxa de lotação tem pouco efeito sobre a produção individual. Segundo Mott (1952), à medida que aumenta a taxa de lotação de uma área a produção individual decresce, pois começa a haver competição por alimento entre os animais e aumenta a produção de metano por ganho. No entanto, quando o CH_4 é expresso através dos índices de eficiência, como ganho de peso e área, em um sistema como o DMS, a produção animal se torna eficiente.

A média de emissão encontrada foi superior (254,7g/dia) ao encontrado por Demarchi 2016 de 154 g CH_4 /dia, Méo Filho (2020), 199,6 g CH_4 /dia e Sakamoto (2018), 188 g CH_4 /dia, no entanto, a comparação da emissão de metano em gramas por dia não é suficiente para explicar as diferenças, uma vez que a mesma emissão pode ocorrer em sistemas totalmente diferentes, como, por exemplo, sistema degradado e sistema irrigado, visto que se faz necessário a comparação em termos das variáveis de produção, como por exemplo, peso ou ganho de peso médio diário.

Quando expressa em produção de metano por percentual de FDN ingerido, observa-se uma redução na emissão para DMS na primavera (3,09 g CH_4 /%FDN), já para as variáveis CH_4MSD na primavera para o tratamento DMS a emissão foi baixa (45,20 g CH_4 /%) em comparação com sistemas intensivos IHS (47,04 g CH_4 /%) e DMS (54,65 g CH_4 /%), e CH_4CMS na primavera no sistema integrado LF (27,05 g CH_4 /kg) foi menor em relação a IHS (29,15

gCH₄/kg) e DMS (28,80 gCH₄/kg) no mesmo período. Os efeitos da estacionalidade de produção foram limitantes para as forrageiras *Megathyrsus Maximus* e *Urochloa* com produtividades de 6781,60 kg MS/ha e 5966,80 kg MS/ha, respectivamente (PASQUINI NETO, 2022) uma vez que a maior produção de forragem se deu na verao; e devido à baixa pluviosidade e o veranico ocorrido nos anos de condução do experimento (Figuras 1 e 2). Collins et al. (2017) observaram que forragens de maior digestibilidade fornecem mais energia por unidade de matéria seca consumida, e, assim, baixo valor nutricional como FDN, CMS e MSD, que pode indicar aumento na produção de metano (LEE, 2017).

O fator de conversão do CH₄, YM, foi introduzido pelo IPCC, como taxa de conversão de metano pela porcentagem de energia bruta consumida pelo animal que é perdida para a produção de CH₄. O órgão caracteriza dietas com digestibilidade entre 63 e 70% de boa qualidade e baixa emissão de CH₄, com YM de 6,3%. Neste estudo observamos que para YM, durante o ano 2 (5,22%) houve maior perda em relação ao ano 1 (4,42%).

Resultados diferentes foram encontrados por Méo Filho (2020) para YM em sistemas integrado (9,9%) e intensivo (9,4%) e Sakamoto (2018), valor médio de 8,19%. O valor de YM é dependente do peso do animal e da composição da dieta podendo ser consequência da qualidade da forragem em determinadas estações do ano. Em adição, os baixos valores de YM no presente estudo pode ser consequência da qualidade da forragem nas diferentes estações do ano e tratamentos, com digestibilidade média de 65%, consumo de forragem e consumo de suplemento com nitrato de amônio como nitrogênio proteico.

A redução de metano em detrimento do consumo de forragem de alta qualidade e do suplemento pode ser explicada pela redução do suprimento de hidrogênio no rúmen, uma vez que alimentos concentrados alteram a produção de AGCC, aumentando o propionato do qual, a via de formação não há a liberação de hidrogênio (HEGARTY, 2007). O nitrato quando fornecido na dieta de ruminantes promove o uso de íons hidrogênio para sua conversão em amônia. Alguns microrganismos são capazes de reduzir nitrato a nitrito e então nitrito a amônia com o uso de hidrogênio, assim a metanogênese ruminal pode ser reduzida.

9. Conclusão

A modulação da fermentação ruminal através do maior CMS, ganho de peso, eficiência na taxa de passagem do alimento pelo TGI e consequente redução da perda de energia, propiciados pelo manejo correto das pastagens respeitando as práticas para cada estação do ano, garante a qualidade destas, juntamente com a correta adubação e a taxa de lotação animal adequada, tendo a capacidade de melhorar a eficiência da emissão de gases de efeito estufa.

10. Considerações Finais

Enfatiza-se que sistemas de produção a pasto, com animais da raça Nelore criados no pasto ao longo de todo o período de sua vida produtiva, sendo este intensificado com adubação e correção do solo, lotação animal média a alta, com a estocagem animal controlada e durante o verão, onde há a maior produção e disponibilidade de forragem, como os sistemas DMS e IHS, possuem baixa emissão de metano quando este é expresso em variáveis de produção como ganho de peso e taxa de lotação: DMS ($579,16 \text{ gCH}_4/\text{kg}\cdot\text{dia}^{-1}$ e $75,17\text{gCH}_4/\text{UA}\cdot\text{ha}\cdot\text{dia}^{-1}$) e IHS ($365\text{gCH}_4/\text{kg}\cdot\text{dia}^{-1}$ e $65,62\text{gCH}_4/\text{UA}\cdot\text{ha}\cdot\text{dia}^{-1}$), em analogia aos dados encontrados na literatura.

Em relação a energia bruta perdida na forma de metano, no sistema DMS foi menor durante o verão ($YM = 2,91\%$), posto que seu consumo ($9,92 \text{ kg}$) durante o verão foi alto juntamente com os sistemas de alta lotação animal, tornando assim um sistema eficiente.

Em adição, sistemas como o DMS, para solos de baixa fertilidade, tem a capacidade de mitigar 145 vezes mais em relação ao sistema integrado como o LF ou até 25 vezes como o DP, uma vez que o sistema LF não recebeu trato de desbaste das árvores ao longo do ano. Porém quando há interação entre estação e sistema, algumas variáveis como CH_4_{FDN} , $\text{CH}_4_{\text{HA_ANO}}$, YM são maiores durante o inverno no IHS e menores durante a primavera, no LF. Durante a primavera, variáveis como CH_4_{GMD} , CH_4_{MSD} , CH_4_{CMS} , CH_4_{FDN} e $\text{CH}_4_{\text{HA_ANO}}$ obtiveram os menores resultados. Todavia, os sistemas integrados são necessários para manter a ciclagem de nutrientes, a biodiversidade do sistema e o equilíbrio animal, planta e ambiente.

11. Agradecimentos

Ao CNPq pelo apoio financeiro para a realização desta pesquisa. À CAPES pelo apoio científico de acordo com a portaria 206/set2018. À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo apoio financeiro para realização deste projeto (nº processo 2017/20084-5). Esta pesquisa é desenvolvida no âmbito do Projeto Rural Sustentável - Cerrado, fruto da parceria entre o Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID), o Governo do Reino Unido, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), o Instituto Brasileiro de Desenvolvimento e Sustentabilidade (IABS) e a Rede ILPF e Embrapa.

12. Referências bibliográficas

ABIEC, 2020. **Beef Report. Perfil da Pecuária.** Perfil da Pecuária no Brasil em 2020.

ADENIJI, Y.A., MUSHAFU, SANNI, O., MUTASSIM, A.M. **Review: Manipulation of the rumen using additives.**

ADESOGAN, T. et al. **Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal—SPECIAL TOPICS.** J. Anim. Sci, v. 91, p. 5045-5069, 2013.

ALCOCK, D., HEGARTY, R.S., 2006, July. **Effects of pasture improvement on productivity, gross.**

ALENCASTRO FILHO. A. **Impactos ambientais da pecuária no Estado de Goiás e o desempenho de diferentes grupos genéticos no confinamento de bovinos.** Goiânia: Pontifícia Universidade Católica (PUC), 2016. Dissertação (Mestrado) –Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Ciências Ambientais e Saúde, 2016.

ALLEN, M. S. **Effects of Diet on Short-Term Regulation of Feed Intake by Lactating Dairy Cattle.** Journal of Dairy Science, vol. 83, nº 7, p. 1598–1624, jul. 2000. DOI 10.3168/jds.s0022-0302(00)75030-2. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(00\)75030-2](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(00)75030-2).

ALMEIDA AK, HEGARTY RS, COWIE A. **Meta-analysis quantifying the potential of dietary additives and rumen modifiers for methane mitigation in ruminant production systems.** Anim Nutr. 2021 Dec;7(4):1219-1230. doi: 10.1016/j.aninu.2021.09.005. Epub 2021 Oct 6. PMID: 34754963; PMCID: PMC8556609.

ALMEIDA SILVA, A.; SCHMITT FILHO, A. L.; DA SILVA KAZAMA, D. C.; LOSS, A.; SOUZA, M.; DE CÁSSIA PICCOLO, M.; FARLEY, J.; SINISGALLI, P. A. A. (2020). **Estoques de carbono e nitrogênio no Sistema Silvopastoril com Núcleos: a nucleação aplicada viabilizando a pecuária de baixo carbono.** *Research, Society and Development*, 9(10), e2799108589. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i10.8589>.

ALMEIDA, L. C. et al. **Capítulo 4-Dinâmica da emissão de gases do efeito estufa na produção animal e aspectos mitigadores no sistema agropecuário pelo monitoramento do perfil metabólico animal.** Tópicos especiais em Ciência Animal III, p. 51, 2015.

ALTSCHUL, S. **Gapped BLAST and PSI-BLAST: a new generation of protein database search programs.** *Nucleic Acids Research*, vol. 25, nº 17, p. 3389–3402, 1 set. 1997. DOI 10.1093/nar/25.17.3389. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1093/nar/25.17.3389>.

AMARAL, G.A., DAVID, D.B., GERE, J.I., SAVIAN, J.V., KOHMANN, M.M., NADIN, L.B., CHOPA, F.S., BAYER, C., CARVALHO, P.C.F., 2016. **Methane emissions from sheep grazing pearl millet (*Penisetum americanum* (L.) Leeke) swards fertilized with increasing nitrogen levels.**

AOAC. ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis.** 16 ed., Virginia, USA, 1995.

ARAÚJO, L.F.; OLIVEIRA, N.P.S.; SILVA, R.M.E; BEZERRA, M.A.; ANGELOTTI, F. Influência do aumento do CO₂ no crescimento inicial e nas trocas gasosas do meloeiro amarelo. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.8, p.439-453, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v8.0.p439>.

ARTAXO, P. **Dossiê do Clima.** Revista USP. N. 103. P. 8-12. 2014.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS AOAC. **Official Methods of Analysis** 15.ed. Arlington, Virginia: 1990. 1117p.

ATASOGLU, C., NEWBOLD, C.J., WALLACE, R.J., 2001. **Incorporation of [15N] Ammonia by the Cellulolytic Ruminant and *Ruminococcus flavefaciens*** 17. *Society* 67, 2819–2822. <https://doi.org/10.1128/AEM.67.6.2819>.

BACH, A.; CALSAMIGLIA, S.; STERN, M. D. **Nitrogen Metabolism in the Rumen**. Journal of Dairy Science, vol. 88, p. E9–E21, abr. 2005. DOI 10.3168/jds.s0022-0302(05)73133-7. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(05\)73133-7](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)73133-7).

BARBOSA, A. R. et al. **Alternativas para o estabelecimento de consórcios de gramíneas tropicais**. Brasília:EMBRAPA, 2018. 18p. (EMBRAPA. Comunicado Técnico, 147).

BEAUCHEMIN, K.A., UNGERFELD, E.M., ECKARD, R.J., WANG, M., 2020. **Review: fifty years of research on rumen methanogenesis: lessons learned and future challenges for mitigation**. *animal* 14, s2–s16. <https://doi.org/10.1017/S1751731119003100>.

BECK, M.R., GREGORINI, P. (2021) Animal Design Through Functional Dietary Diversity for Future Productive Landscapes. **Front. Sustain. Food Syst.** 5:546581. [doi: 10.3389/fsufs.2021.54658](https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.54658).

BENETEL G, SILVA TDS, FAGUNDES GM, WELTER KC, MELO FA, LOBO AAG, MUIR JP, BUENO ICS. **Essential Oils as In Vitro Ruminant Fermentation Manipulators to Mitigate Methane Emission by Beef Cattle Grazing Tropical Grasses**. *Molecules*. 2022 Mar 29;27(7):2227. doi: 10.3390/molecules27072227. PMID: 35408626; PMCID: PMC9000866.

BERCHIELLI T.T., Pires A.V. e Oliveira S.G. (2011) **Nutrição de Ruminantes**. FUNEP, Jaboticabal, Brazil.

BERNARDI, A.C.C., ESTEVES, S.N., PEZZOPANE JRM, Alves TC, BERNDT A, PEDROSO AF, RODRIGUES PHM, MARTIN NETO L, OLIVEIRA PPA. **Estoques de carbono no solo em sistemas integrados no bioma Mata Atlântica**. In: Sotta ED, Sampaio FG, Costa MSN (Ed.). **Coletânea de fatores de emissão e remoção de gases de efeito estufa da pecuária brasileira**. Brasília: MAPA-SENAR. 2020. p.104-105.

BERNDT, A. **Estratégias nutricionais para redução de metano**. In: **congresso latino-americano de nutrição animal – CLANA**, 4., 2010, Estância de São Pedro, SP. Anais. Colégio Brasileiro de Nutrição Animal (Eds.), 2010. p. 295-306.

BERNDT, A. **Impacto da pecuária de corte brasileira sobre os gases do efeito estufa**. In: **Simpósio de Produção de Gado de Corte (SIMCORTE)**, 7., 2010, Viçosa. Anais. Viçosa: DZO: UFV, p. 121-147, 2010.

BERNDT, A., et al. Guidelines for use of sulphur hexafluoride (SF₆) tracer technique to measure enteric methane emissions from ruminants. M. G. Lambert, ed. **New Zealand Agricultural Greenhouse Gas Research Centre**, New Zealand. 166p., 2014.

BERNDT, A., LEMES, A., SAKAMOTO, L., OLIVEIRA, P., 2014. **The impact of Brazilian livestock production on global warming. Embrapa Pecuária Sudeste-Artigo em anais de congresso (ALICE).** In: Reunião anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 51. A produção animal frente às mudanças climáticas e tecnológicas-palestra. Barra dos Coqueiros, pp. 121–147. <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1015950>. (Accessed 30 April 2020).

BERNDT, A., PEDROSO, A.F., PEREIRA, L.G.R., RODRIGUES, P.M.H., ALMEIDA, R.G., GUIMARÃES JUNIOR, R., FRIGUETTO, R.T.S, e OLIVEIRA, P.P.A. **Diretrizes para avaliação da emissão de metano entérico com a técnica do gás traçador SF₆.** Documentos 117. ISSN 1980-6841. 2014.

BONNET, O., HAGENAH, N., HEBBERLMANN, L., MEURET, M., SCHRADER, A. **Is Hand Plucking an Accurate Method of Estimating Bite Mass and Instantaneous Intake of Grazing Herbivores?** Rangeland Ecology & Management, vol. 64, nº 4, p. 366–374, jul. 2011. DOI 10.2111/rem-d-10-00186.1.

BUENO, IVES CLÁUDIO DA SILVA. **Cinética digestiva e síntese microbiana ruminal em ovinos alimentados com fenos de três qualidades distintas.** 2002. Tese (Doutorado em Energia Nuclear na Agricultura) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002. doi:10.11606/T.64.2002.tde-14012003-094711. Acesso em: 2021-04-27.

CAIN, M., LYNCH, J., ALLEN, M. R., FUGLESTVEDT, J. S., FRAME, D. J., & MACEY, A. H. (2019). **Improved calculation of warming-equivalent emissions for short-lived climate pollutants.** *Climate and Atmospheric Science*, 2 (1). <https://doi.org/10.1038/s41612-019-0086-4>.

CALDERANO FILHO, B. **Os solos da Fazenda Canchim, Centro de Pesquisa de Pecuária do Sudeste, São Carlos, SP:** levantamento semidetalhado, propriedades e potenciais. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS; São Carlos: Embrapa-CPPSE, p. 95, 1998. (Embrapa-CNPS. Boletim de pesquisa, 7; Embrapa-CPPSE. Boletim de pesquisa, 2).

CAMPOREZI, JONAS DA SILVA. **Composição química e morfológica de pastos safrinha na integração lavoura pecuária.** Universidade Estadual Paulista (Unesp), 2022. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/235904>. Acesso em 05. Dez. 2022.

CARDOSO, A. S. et al. Impact of the intensification of beef production in Brazil on greenhouse gas emissions and land use. *Agricultural Systems*, v. 143, p. 86-96. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/172348>>

CARMO, C. D. A. et al. **Substituição do farelo de soja por uréia ou amiréia para vacas em final de lactação.** *Animal Sciences*, vol. 27, nº 2, 20 mar. 2005. DOI 10.4025/actascianimsci.v27i2.1234. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4025/actascianimsci.v27i2.1234>.

CARVALHO, P.C. DE F., 2013. **Harry Stobbs memorial lecture: can grazing behavior support innovations in grassland management?** *Trop. Grasslands - Forrajes Trop.* 1, 137. [https://doi.org/10.17138/TGFT\(1\)137-155](https://doi.org/10.17138/TGFT(1)137-155).

CASTRO SANTOS, D.; JÚNIOR, R. G.; VILELA, L.; MACIEL, G. A.; DE SOUZA FRANCA, A. F. (2018). **Implementation of silvopastoral systems in Brazil with *Eucalyptus urograndis* and *Brachiaria brizantha*: productivity of forage and an exploratory test of the animal response.** *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 266, 174-180. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.07.017>.

CASTRO, A. C. JÚNIOR, J. B. L. SANTOS, J. N. F. A. MONTEIRO, E. M. M. AVIZ, M. A. B. GARGIA, A. R. (2008). **Sistema Silvopastoril na Amazônia de búfalas.** *Revista Ciência Rural*, 38(8), 954-968.

CASTRO, M. M. D. et al. **In vitro ruminal fermentation and enteric methane production of tropical forage added nitrogen or nitrogen plus starch.** *Animal Feed Science and Technology*, vol. 275, p. 114878, maio 2021. DOI 10.1016/j.anifeedsci.2021.114878. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2021.114878>.

CIESLAK, A. et al. **Plant components with specific activities against rumen methanogens.** *Animal*, vol. 7, p. 253–265, 2013. DOI 10.1017/s1751731113000852. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1017/S1751731113000852>.

COELHO DA SILVA JF, LEÃO MI (1979) **Fundamentos de nutrição dos ruminantes.** Piracicaba: Livroceres, 380 p.

COOK, C.W. **Symposium on nutrition of forages and pastures: collecting forage samples representative of ingested material of grazing animals for nutritional studies.** *Journal of Animal Science* (1964).

CORREIA, L., et al. **Protozoários Ruminais de Vacas Nelore Recebendo Suplementação Mineral ou Proteico-Energética na Estação das Águas**. 2022.

COSTA, J.A.A. & QUEIROZ, H.P. Régua de Manejo de Pastagens. **Comunicado Técnico 125**. Embrapa Gado de Corte. 2013. 7p. Disponível em<<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/92016/1/COT125.pdf>>. Acesso em 22 de novembro de 2022.

COTA, O. L. **Emissão de metano por bovinos nelore submetidos a diferentes planos nutricionais**. 2013.

D'AUREA, A. P., et al. **Mitigating Greenhouse Gas Emissions from Beef Cattle Production in Brazil through Animal Management**. Sustainability, v. 13, n. 13, p. 7207, 2021.

DADO, R. G.; ALLEN, M. S. **Intake limitations, feeding behaviour, and rumen function of cows challenged with rumen fill from dietary fiber or inert bulk**. Journal of Dairy Science, v. 78, p. 118–133, 1995.

DE OLIVEIRA, T. S., et al. **Efetividade da fibra na nutrição de ruminantes1**. PUBVET, v. 2, p. Art. 428-457, 2022.

DE SOUZA FILHO, W. et al. **Mitigation of enteric methane emissions through pasture management in integrated crop-livestock systems: trade-offs between animal performance and environmental impacts**. Journal of Cleaner Production, v. 213, p. 968-975, 2019.

DEHORITY, B. A. **Laboratory manual for classification and morphology of rumen ciliate protozoa**. Florida: CRC Press, Inc., Boca Raton, FL, 1993. 96 p.

DE LIMA SANTOS, G.C. et al. **Uso de tortas na alimentação de vacas leiteiras: uma revisão**. Brazilian Journal of Animal and Environmental Research, v. 3, n. 1, p. 89-113, 2020.

DEMARCHI, J. J. A. A. et al. Effect of seasons on enteric methane emissions from cattle grazing *Urochloa brizantha*. **Journal of Agricultural Science**, v. 8, n. 4, p. 1-10, 2016.

DETMANN E, Valente EEL, Batista ED, Huhtanen P (2014) An evaluation of the performance and efficiency of nitrogen utilization in cattle fed tropical grass pastures with supplementation. **Livestock Science**, v. 162, n. 1, p. 141–153.

DETMANN, E., PAULINO, M.F., MANTOVANI, H.C., FILHO, S. DE C.V., SAMPAIO, C.B., DE SOUZA, M.A., LAZZARINI, Í., DETMANN, K.S.C., 2009. **Parameterization of ruminal fibre degradation in low-quality tropical forage using Michaelis-Menten kinetics**. *Livest. Sci.* 126, 136–146. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2009.06.013>.

DIAS, L. L. R., KOVACS, T. A. S., & RIBEIRO, M. G. (2017). **Mitigação Dos Gases Do Efeito Estufa em Bovinos Criados a Pasto**. *Revista De Ciência Veterinária E Saúde Pública*, 4, 169-172. <https://doi.org/10.4025/revcivet.v4i0.37124>.

DIAS-FILHO, Moacyr Bernardino. **Degradação de pastagens: o que é e como evitar**. Embrapa Brasília, DF, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.18542/ragros.v12i2.8202>>. Acesso em: 05 de dez. de 2022.

DIAS-FILHO, M.B. **Diagnóstico das Pastagens no Brasil**. Embrapa Amazônia Oriental. Belém, Brazil, 2014; 38p.

DINI, Y., GERE, J., BRIANO, C., MANETTI, M., JULIARENA, P., PICASSO, V., GRATTON, R. AND ASTIGARRAGA, L. (2012) **Methane Emission and Milk Production of Dairy Cows Grazing Pastures Rich in Legumes or Rich in Grasses in Uruguay**. *Animals*, 2, 288-300. <https://doi.org/10.3390/ani2020288>.

DINI, Y., GERE, J.I., CAJARVILLE, C., CIGANDA, V.S., 2018. **Using highly nutritious pastures to mitigate enteric methane emissions from cattle grazing systems in South America**. *Anim. Prod. Sci.* 58, 2329. <https://doi.org/10.1071/AN16803>.

EMBRAPA CLIMA TEMPERADO - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 2007. **Programa de Melhoramento do Azevém. Pelotas-RS**.

EMBRAPA PECUÁRIA SUDESTE – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 2005. **Circular Técnica 40. São Carlos-SP**.

EPA. (2022). *Greenhouse gas emissions: Understanding global warming potentials (tech. rep.)*. United States Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/ghgemissions/understanding-global-warming-potentials>. Acesso em 06 de dez. 2022.

ERWIN, E. S.; MARCO, G. J.; EMERY, E. M. **Volatile Fatty Acid Analyses of Blood and Rumen Fluid by Gas Chromatography**. *Journal of Dairy Science*, vol. 44, nº 9, p. 1768–1771, set. 1961. DOI 10.3168/jds.s0022-0302(61)89956-6. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(61\)89956-6](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(61)89956-6).

EZEQUIEL, J. M. B.; SOARES, W.V.B; SEIXAS, J.R.C. **Digestibilidade in vitro da matéria seca, nitrogênio e fibra em detergente ácido de dietas completas contendo farelo de algodão, uréia ou amiréia**. *Revista Brasileira de Zootecnia / Brazilian Journal of Animal Science*, v. 30, n.1, p. 236-241, 2001.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Five Practical Actions Towards Low-Carbon Livestock**, FAO, Rome, Italy, p. 40, 2019.

FARIA, B. A. F. **Determinação da interceptação luminosa, índice de área foliar e altura de genótipos de megathyrsus maximus (syn. panicum maximum), em condições de pré-pastejo**. 2022. 27 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Zootecnia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2022.

FERNANDES, Alberto Magno et al. Composição químico-bromatológica de variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum spp L.*) com diferentes ciclos de produção (precoce e intermediário) em três idades de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 32, p. 977-985, 2003.

FGV, 2022. PANORAMA DAS EMISSÕES DE METANO E IMPLICAÇÕES DO USO DE DIFERENTES MÉTRICAS. Observatório de Bioeconomia. https://eesp.fgv.br/sites/eesp.fgv.br/files/ocbio_panorama_das_emissoes_de_metano_e_implicacoes_do_uso_de_diferentes_metricas_pt.pdf. Acesso em: 10 de fevereiro de 2023.

FOLDAGER, J. **Protein requirement and non-protein nitrogen for high producing cow in early lactation**. 1977. Tese (Doutorado em Ciência Animal) – Michigan State University, East Lansing, MI, USA, 1977.

FONDEVILA, M.; DEHORITY, B. A. In vitro culture of *Entodinium exiguum* and *E. caudatum*, with or without rumen bacteria. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 78, p. 290, 2000. Supl. 1.

FORBES, J.M. Voluntary food intake and diet selection by farm animals. **Madison: CAB Internacional**, 1995, 532p.

FORSTER, P., et al. Changes in atmospheric constituents and in radiative forcing. Chapter 2. In: **Climate change 2007. The physical science basis**. 2007. Giro A, Pezzopane JRM, Barioni Junior W, Pedroso AF, Lemes AP, Botta D, Romanello N, Barreto ADN, Garcia AR. Behavior and body surface temperature of beef cattle in integrated crop-livestock systems with or without tree shading. *Sci Total Environ.* 2019 Sep 20;684:587-596. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.05.377. Epub 2019 May 28. PMID: 31158622.

FRANZOLIN, Raul; DEHORITY, B. A. Effect of prolonged high-concentrate feeding on ruminal protozoa concentrations. **Journal of animal science**, v. 74, n. 11, p. 2803-2809, 1996.

FREIRE, Ana Paula Alves. **Desempenho, características de carcaça, produção de metano e metabolismo ruminal em ovinos alimentados com dietas contendo nitrato de cálcio**. 2015. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

GLEASON, C. B.; WHITE, R. R. **Beef species-ruminant nutrition cactus beef symposium: A role for beef cattle in sustainable U.S. food production**. *Journal of Animal Science*, vol. 97, nº 9, p. 4010–4020, 15 ago. 2019. DOI 10.1093/jas/skz173. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1093/jas/skz173>.

GOMIDE, C. A. DE M.; PACIULLO, D. S. C.; MARTINS, C. E. Circular Técnica 125 - **Momento da adubação nitrogenada em pastagens intensivamente manejadas**. p.18, 2020. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1126990>>. Acesso em: 05 de dez. de 2022.

GRANJA-SALCEDO, Y. T., et al. **Long-term encapsulated nitrate supplementation modulates rumen microbial diversity and rumen fermentation to reduce methane emission in grazing steers**. *Frontiers in Microbiology*, v. 10, p. 614, 2019.

GRAY, S.B.; BRADY, S.M. **Plant developmental responses to climate change**. *Developmental Biology*, v.419, p.64–77, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ydbio.2016.07.023>. Acesso em: 07 de dez 2022.

GREGORINI, P.; GUNTER, S. A.; BECK, P. A. **Matching plant and animal processes to alter nutrient supply in strip-grazed cattle: timing of herbage and fasting**

allocation. Journal of animal science, v. 86, n. 4, p. 1006-1020, 2008. Greenhouse gases Protocol. 2015. Metodologia do GHG Protocol. Unicamp, Campinas-SP.

GUIMARÃES, Yuri Santa Rosa. **Impactos ambientais da suplementação de bovinos de corte na pegada de carbono e uso da terra.** Dissertação de Mestrado. 2022.

HEGARTY, R. **Greenhouse gas emissions from the Australian livestock sector what do we know, what can we do?** Canberra: NSW Agriculture Australian Greenhouse Office, 2001. 35p.

HENSIEK, R.; KRUPP, G.; STACKEBRANDT, E. **Development of Diagnostic Oligonucleotide Probes for Four Lactobacillus Species Occurring in the Intestinal Tract.** Systematic and Applied Microbiology, vol. 15, n° 1, p. 123–128, fev. 1992. DOI 10.1016/s0723-2020(11)80148-7. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1016/S0723-2020\(11\)80148-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0723-2020(11)80148-7).

HERRERO, Mario et al. **Biomass use, production, feed efficiencies, and greenhouse gas emissions from global livestock systems.** Proceedings of the National Academy of Sciences, v. 110, n. 52, p. 20888-20893, 2013.

HOLDEN, L. A. **Comparison of Methods of In Vitro Dry Matter Digestibility for Ten Feeds.** Journal of Dairy Science, vol. 82, n° 8, p. 1791–1794, ago. 1999. DOI 10.3168/jds.s0022-0302(99)75409-3.

HOOGENDOORN, C. J.; HOLMES, C. W.; CHU, A. C. P. **Some effects of herbage composition, as influenced by previous grazing management, on milk production by cows grazing on ryegrass/white clover pastures. 2.** Milk production in late spring/summer: effects of grazing intensity during the preceding spring period. Grass and Forage Science, v. 47, n. 4, p. 316-325, 1992.

HOOVER WH (1986) Chemical factors involved in ruminal fiber digestion. **Journal Dairy Science**, v. 68, n. 1, p. 40-44.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. 2006 IPCC **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.** Hayama, Kanagawa: Institute for Global Environmental Chapter 10: Emissions from livestock and Manure Management. p.10.1-10.84.

IPCC, 2013: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels,

Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.

IPCC, 2022: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change H.-O.

Intergovernmental Panel on Climate Change (2019). **2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories** In: Gavrilova O, Leip A, Dong H, MacDonald JD, Bravo CAG, Amon B, Rosales RB, del Prado A, de Lima MA, Oyhantçabal W, Van der Weerden T, Widiawati Y Emissions from livestock and manure management. Vol.4: Agriculture, forestry and other land use. p. 10.3 – 10.3.5.

IPCC, 2018. *Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C* (V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P. R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, & R. Pidcock, Eds). 1.

IPCC, 2014. **Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

JESUS, L. P., et al. **Modelagem estatística para estimação da população de protozoários ruminais em função da relação volumoso: concentrado na dieta e da presença de aditivos**. Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal, v. 13, p. 97-109, 2012.

JOHNSON, K. A. e JOHNSON, D. E. **Methane emissions from cattle**. J. Anim. Sci. 73(8), 2483–2492. <https://doi.org/10.2527/1995.7382483x> (1995)

KAMIŃSKI, M. et al. **Determination of carbon monoxide, methane and carbon dioxide in refinery hydrogen gases and air by gas chromatography**. Journal of Chromatography A, vol. 989, n° 2, p. 277–283, mar. 2003. DOI 10.1016/S0021-9673(03)00032-3. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1016/S0021-9673\(03\)00032-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0021-9673(03)00032-3).

KICHEL, A. N.; MIRANDA, C. H. B.; ZIMMER, A. H. **Degradação de pastagens e produção de bovinos de corte com a integração agricultura x pecuária**. In: SIMPOSIO DE

PRODUÇÃO DE GADO DE CORTE, 1., 1999, Viçosa. Anais. Viçosa: UFV, 1999. p. 201-234.

KOZLOSKI, G. B. **Bioquímica dos ruminantes**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 139p., 2002.

LABORATÓRIO, DE PROCESSAMENTO DE IMAGENS E GEOPROCESSAMENTO-LAPIG. **Atlas Digital das Pastagens Brasileiras**. Universidade Federal de Goiás (UFG). Disponível em: <<https://atlasdaspastagens.ufg.br/map>>. Acesso em 05 dez. 2022.

LAZZARINI, I. et al. Dinâmicas de trânsito e degradação da fibra em detergente neutro em bovinos alimentados com forragem tropical de baixa qualidade e compostos nitrogenados. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 61, p. 635-647, 2009.

LEAKEY, A.D.B. **Rising atmospheric carbon dioxide concentration and the future of C4 crops for food and fuel**. Proceedings of the Royal Society B, v.276, p.2333-2343, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1098/rspb.2008.1517>. Acesso em: 07 dez. 2022.

LEE, C.; BEAUCHEMIN, K. A. **A review of feeding supplementary nitrate to ruminant animals: nitrate toxicity, methane emissions, and production performance**. Canadian Journal of Animal Science, vol. 94, nº 4, p. 557–570, dez. 2014. DOI 10.4141/cjas-2014-069. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4141/cjas-2014-069>.

LIEBE, D. M.; WHITE, R. R. **Analytics in sustainable precision animal nutrition**. Animal Frontiers, vol. 9, nº 2, p. 16–24, abr. 2019. DOI 10.1093/af/vfz003. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1093/af/vfz003>.

LIU, S., PROUDMAN, J. & MITLOEHNER, F.M. **Rethinking methane from animal agriculture**. *CABI Agric Biosci* 2, 22 (2021). <https://doi.org/10.1186/s43170-021-00041-y>.

LIU, Y.; WHITMAN, W. B. **Metabolic, Phylogenetic, and Ecological Diversity of the Methanogenic Archaea**. Annals of the New York Academy of Sciences, vol. 1125, nº 1, p. 171–189, 26 mar. 2008. DOI 10.1196/annals.1419.019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1196/annals.1419.019.n.4>, p.801-810, 1972.

LOBATO, J. F. P. et al. **Brazilian beef produced on pastures: Sustainable and healthy.** Meat science, v. 98, n. 3, p. 336-345, 2014.

LOBO, A. A. G., SILVA, G. V. DA, PASQUINI NETO, R. FURTADO, A. J., OLIVEIRA, P. P. A. RODRIGUES, P. H. M., BUENO, I. C. DA S. BERNDT, A. **Effect of intensive and integrated grazing systems, in seasons, on methane mitigation in Nellore.** INTERNATIONAL GREENHOUSE GAS & ANIMAL AGRICULTURE CONFERENCE, 8., Orlando, Florida. Abstract Book... Orlando, Florida: GGAA, 2022.

LOBO, A.A.G., BERNDT, A. BUENO, I.C.S. **Grazing intensification and integration effects on plant, animal and environmental components of livestock production systems. 2019.** IV Simpósio de Pós-Graduação em Zootecnia. Anais ISBN 978-85-66404-32-6.

MANELLA, M. Q.; LOURENÇO, A. J. **População de protozoários ciliados no rúmen de bovinos nelore em pastos de *Brachiaria brizantha* Marandu recebendo suplemento protéico ou com livre acesso a banco de proteína de *Leucaena leucocephala* nas diferentes estações do ano.** Boletim de Indústria Animal, Nova Odessa, v. 61, n. 1, p. 1-11, 2004.

MARTIN, C.; WILLIAMS, A. G.; MICHALET-DOREAU, B. **Isolation and characteristics of the protozoal and bacterial fractions from bovine ruminal contents**¹. Journal of Animal Science, vol. 72, nº 11, p. 2962–2968, 1 nov. 1994. DOI 10.2527/1994.72112962x. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.2527/1994.72112962x>.

MARTINELE, I. *et al.* Diet botanical composition and rumen protozoa of sheep in Brazilian Semi-Arid área. **Archivos de Zootecnia**, Córdoba, v. 59, p. 226-245, 2010.

MARTINEZ, C.A.; OLIVEIRA, E.A.D.; MELLO, T.R.P.; MARIN, A.L.A. Respostas das plantas ao incremento atmosférico de dióxido de carbono e da temperatura. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.8, p.635-650, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v8.0.p635-650>. Acesso em: 07 dez. 2022.

MAZZETTO A.M., FEIGL B.J., SCHILS R.L.M., CERRI C.E.P., CERRI C.C. Improved pasture and herd management to reduce greenhouse gas e missions from a Brazilian beef production system. Livest. Sci. 2015;175:101–112. doi: 10.1016/j.livsci.2015.02.014.

MCALLISTER, T. A. et al. **Dietary, environmental and microbiological aspects of methane production in ruminants.** Canadian Journal of Animal Science, vol. 76, nº 2, p. 231–243, 1 jun. 1996. DOI 10.4141/cjas96-035. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4141/cjas96-035>.

MCANALLY, R.A. (1942) **Digestion of straw by ruminants.** *Biochemistry Journal* 36, 392–399.

MCCARTHY, B. et al. Meta-analysis of the impact of stocking rate on the productivity of pasture-based milk production systems. *Animal*, v. 5, n. 5, p. 784-794, 2011.

MCMANUS, Concepta et al. **Dynamics of cattle production in Brazil.** *PloS one*, v. 11, n. 1, p. e0147138, 2016.

MEHREZ, A. Z.; ØRSKOV, E. R. A study of the artificial bag technique for determining the digestibility of feeds in the rumen. *Journal of Agricultural Science*, v. 88, n.3, p. 645-650, 1977.

MEO-FILHO, P.; BERNDT, A.; PEZZOPANE, J.R.M.; PEDROSO, A.F.; BERNARDI, A.C.C.; RODRIGUES, P.H.M.; BUENO, I.C.S.; CORTE, R.R.; OLIVEIRA, P.P.A. **Can Intensified Pasture Systems Reduce Enteric Methane Emissions from Beef Cattle in the Atlantic Forest Biome?** *Agronomy* 2022, 12, 2738. <https://doi.org/10.3390/agronomy12112738>.

MORAIS, M. N. **Manejo de capim Xaraés (*Brachiaria brizantha* cv. Xaraés) em diferentes sistemas de pastejo** / Matheus Neves de Moraes; orientadora Ana Paula Cardoso Gomide. -- Rio Verde, 2022. 23 p. Dissertação de mestrado.

MOSS, A. R.; JOUANY, J.-P.; NEWBOLD, J. **Methane production by ruminants: its contribution to global warming.** *Annales de Zootechnie*, vol. 49, n° 3, p. 231–253, maio 2000. DOI 10.1051/animres:2000119. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1051/animres:2000119>.

MOTT, G.O.; LUCAS, H.L. **The design, conduct and interpretation of grazing trials on cultivated and improved pastures.** In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 1952, Pennsylvania. Proceedings... Pennsylvania: State College Press, p.1385. 1952.

MOULD, F.L. AND ØRSKOV, E.R. (1984) **Manipulation of rumen fluid pH and its influence on cellulolysis in sacco, dry matter degradation and the rumen microflora of sheep offered either hay or concentrate.** *Animal Food Science Technology* 10, 1–14.

MOYA, D.; MAZZENGA, A.; HOLTSHAUSEN, L.; COZZI, G.; GONZÁLEZ, L.A.; CALSAMIGLIA, S.; GIBB, D.G.; MCALLISTER, T.A.; BEAUCHEMIN, K.A.; SCHWARTZKOPF-GENSWEIN, K. **Feeding behavior and ruminal acidosis in beef cattle**

offered a total mixed ration or dietary components separately. Journal of Animal Science, v. 89, p. 520-530, 2011.

MURRAY, R. M. et al. **Rates of production of methane in the rumen and large intestine of sheep.** Br. J. Nutr. 36(1), 1–14. <https://doi.org/10.1079/bjn19760053> (1976).

NASA. NOAA. **Analyses reveal 2019 second warmest year on record;** 2020. <https://www.nasa.gov/press-releases/nasa-noaa-analyses-reveal-2019-second-warmest-year-on-record>. Acesso em 07 de dez. 2022.

NIU, M. et al. **Prediction of enteric methane production, yield, and intensity in dairy cattle using an intercontinental database.** Global Change Biology, vol. 24, n° 8, p. 3368–3389, 8 mar. 2018. DOI 10.1111/gcb.14094. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1111/gcb.14094>.

NOCEK, J.E. ***In situ* and other methods to estimate ruminal digestion and energy digestibility:** A review. Journal of Dairy Science, v. 71, n. 8, p. 2051-2069, 1988.

NRC – National Research Council (2000). **Nutrient requirements of beef cattle.** 8th ed. Washington: National Academic Press, 234p.

NUSSIO, L. G.; MANZANO, R. P.; PEDREIRA, C. G. S. Valor alimentício em plantas do gênero *Cynodon*. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 15., 1998, Piracicaba. Manejo de pastagens de tifton, coastcross e estrela: anais. Piracicaba: FEALQ, 1998. p. 203-242.

OLIVEIRA, P. P. A. (2015). **Greenhouse gases in Brazilian livestock production systems and OLIVEIRA, P. P. A., et al. Greenhouse gas balance and carbon footprint of pasture-based beef cattle production systems in the tropical region (Atlantic Forest biome).** animal, v. 14, n. S3, p. s427-s437, 2020.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS - ONU. **Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável,** 2015. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/wp-content/uploads/2015/10/agenda2030-pt-br.pdf>. Acesso em 07 de dez. 2022.

ØRSKOV, E. R. (2000) **'The *in situ* technique for the estimation of forage degradability in ruminants'**, CABI Books. CABI International. doi: 10.1079/9780851993447.0175.

ØRSKOV, E. R. **Protein nutrition in ruminants**. New York: Academic Press, 1982. 160 p.

ØRSKOV, E. R.; HOVELL, F. D. Deb; MOULD, F. **Uso de la tecnica de la bolsa de nylon para la avaluacion de los alimentos**. Producción Animal Tropical., n.5, p.213, 1980.

ØRSKOV, E. R.; MCDONALD, I. **The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage**. The Journal of Agricultural Science, vol. 92, n° 2, p. 499–503, abr. 1979. DOI 10.1017/s0021859600063048.

ØRSKOV, E.R. (1992) **Protein Nutrition in Ruminants, 2nd edn**. Academic Press, London and New York.

ØRSKOV, E.R. and Ryle, M. (1990) **Energy Nutrition in Ruminants**. Elsevier Applied Science, London and New York.

ORZUNA-ORZUNA, J. F., et al. **Effects of dietary tannins' supplementation on growth performance, rumen fermentation, and enteric methane emissions in beef cattle: a meta-analysis**. Sustainability, v. 13, n. 13, p. 7410, 2021.

OWENS FN, GOETSCH AL (1993) Ruminal Fermentation. In: Church, D.C. (Eds.), **The ruminant animal – digestive, physiology and nutrition**. Waveland Press Inc., Long Grove, p. 125-144.

PASQUINI, N R. **Efeitos da intensificação e integração como estratégia para o manejo sustentável das pastagens nos sistemas de produção de bovinos de corte da raça Nelore: produtividade da forragem, desempenho animal e consumo alimentar**. 2022. Dissertação (Mestrado em Nutrição e Produção Animal) - Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2022. doi:10.11606/D.10.2022.tde-29062022-143634. Acesso em: 2022-12-05.

PENNER, G. B.; BEAUCHEMIN, K. A.; MUTSVANGWA, T. **An Evaluation of the Accuracy and Precision of a Stand-Alone Submersible Continuous Ruminal pH Measurement System**. Journal of Dairy Science, vol. 89, n° 6, p. 2132–2140, jun. 2006. DOI 10.3168/jds.s0022-0302(06)72284-6. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72284-6](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72284-6).

PEREIRA, A. V., et al. **Tendências do Melhoramento Genético e Tendências do Melhoramento Genético e Produção de Sementes de Forrageiras no Brasil**. 2003. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/46610/1/Binder1.pdf>. Acesso em: 05 dez. 2022.

PERNA, J. F. et al. **Effect of tannins-rich extract from *Acacia mearnsii* or monensin as feed additives on ruminal fermentation efficiency in cattle**. *Livestock Science*, vol. 203, p. 21–29, set. 2017. DOI 10.1016/j.livsci.2017.06.009. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.livsci.2017.06.009>.

PERNA, J. F. **Taninos como aditivo alimentar para mitigação das emissões de metano em ruminantes**. 2018. Tese (Doutorado em Nutrição e Produção Animal) - Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2018. doi:10.11606/T.10.2018.tde-20082018-160632. Acesso em: 2022-12-06.

PEZZOPANE JRM, BOSI C, de Campos BERNARDI AC, OLIVEIRA PPA. **Managing eucalyptus trees in agroforestry systems: Productivity parameters and PAR transmittance**. *Agric Ecosyst Environ*. 2021; 312: 107350. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107350>.

PINHEIRO, E. N. (2019). **Estoque de carbono em áreas sob diferentes usos na região sul do Amazonas**, Brasil. 2019. 34 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Amazonas, Humaitá.

PIOTTO, Vanessa Cristina. **Mitigação da emissão de gases de efeito estufa em pasto de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu sob pastejo**. 2016. Tese (Doutorado em Qualidade e Produtividade Animal) - Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, University of São Paulo, Pirassununga, 2016. doi:10.11606/T.74.2017.tde-23022017-141634. Acesso em: 2023-02-26.

PÖRTNER, D.C. ROBERTS, M. TIGNOR, E.S. POLOCZANSKA, K. MINTENBECK, A. ALEGRÍA, M. CRAIG, S. LANGSDORF, S. LÖSCHKE, V. MÖLLER, A. OKEM, B. RAMA (eds.]. **Cambridge University Press**. In Press.

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

PROCESSI, E F. **Estratégias para mitigação da emissão de gás metano (CH₄) por bovinos de corte influências no metabolismo.** 2015.

RAPOSO, E. et al. **Greenhouse gases emissions from tropical grasslands affected by nitrogen fertilizer management.** *Agronomy Journal*, v. 112, n. 6, p. 4666-4680, 2020.

RASSINI, J. B. **Manejo da água na irrigação da alfafa num Latossolo Vermelho-Amarelo.** *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, vol. 37, nº 4, p. 503–507, abr. 2002. DOI 10.1590/s0100-204x2002000400012.

RESENDE, L. O., et al. **Silvopastoral management of beef cattle production for neutralizing the environmental impact of enteric methane emission.** *Agroforestry Systems*, v. 94, n. 3, p. 893-903, 2020.

ROBINSON, P. H.; TAMMINGA, S.; VAN VUUREN, A. M. **Influence of declining level of feed intake and varying the proportion of starch in the concentrate on rumen ingesta quantity, composition and kinetics of ingesta turnover in dairy cows.** *Livestock Production Science*, vol. 17, p. 37–62, jan. 1987. DOI 10.1016/0301-6226(87)90051-0.

ROCHA, Cesar Oliveira. **Métodos de pastejo: produção vegetal e animal.** 2014. Dissertação (Mestrado em Qualidade e Produtividade Animal) - Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2014. doi:10.11606/D.74.2014.tde-19092014-144820. Acesso em: 2023-03-14.

RODRIGUES, D. A.; AVANZA, M. F. B.; DIAS, L. G. G. G., **Sobressemeadura de Aveia e Azevém em Pastagens Tropicais no Inverno.** *Revista Científica Eletrônica De Medicina Veterinária*. Editora FAEF, n. 16, 2011.

RODRIGUES, M.S. **Características Produtivas de Forrageiras dos Gêneros *Urochloa* e *Megathyrsus maximus*.** Dissertação de Mestrado. 43p. 2022.

RODRIGUES, P. H. M.; PINEDO, L. A.; SOLORZANO, L. A. R.; PERNA JUNIOR, F.; MARTINS, M. F.; CASTRO, A. L.; GODOY, G. L. A.; MARINO, C. T. **Descrição da metodologia *ex-situ* de estudo da fermentação ruminal (micro-rúmen) com vistas à mensuração da produção de metano.** In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 49, 2012, Brasília. *Anais...* Brasília – DF, 2012.

RUSSELL, J. B.; WILSON, D. B. **Why are ruminal cellulolytic bacteria unable to digest cellulose at low pH?** Journal of dairy science, v. 79, n. 8, p. 1503-1509, 1996.

RUVIARO, C. F. et al. **Carbon footprint in different beef production systems on a southern Brazilian farm: a case study.** Journal of Cleaner Production, v. 96, p. 435-443, 2015.

SAKAMOTO, L. S. et al. **Pasture Intensification in Beef Cattle Production can affect Methane Emission Intensity.** Journal of Animal Science, v. 98, n. 10, 2020.

SAKAMOTO, L. S.. **Intensidades de emissão de gás metano de bovinos Nelore terminados a pasto e cruzados em confinamento.** 2018. Tese (Doutorado em Qualidade e Produtividade Animal) - Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2018. doi:10.11606/T.74.2018.tde-23102018-124307. Acesso em: 2022-12-05.

SAMPAIO, C.B., FONSECA, R.S. Boletim de Extensão Número 71. Universidade Federal de Viçosa. **Manejo Nutricional e Reprodutivo de Vacas de Corte na Estação de Monta.** 2019. ISSN-1415-692X.

SAN THIAGO, L.R.L., SILVA, J.M. 2001. **Suplementação de bovinos em pastejo.** Embrapa Gado de Corte. Campo Grande. 28 pp.

SANTA ROSA, C.E.A. **Análise econômica da utilização de silagem de casca de mandioca com torta de dendê para uso na alimentação animal.** Orientador: Cristian Faturi; Juliana Schuch Pitirini. 2022. 35 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Zootecnia) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Campus Belém, PA, 2022.

SANTOS, J. V. **Intensificação e integração de pastagens:** um estudo químico e biológico do solo em área tropical. 2022. Dissertação (Mestrado em Química Analítica e Inorgânica) - Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2022. doi:10.11606/D.75.2022.tde-05102022-144344. Acesso em: 2022-12-05.

SAS. STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM. **SAS/STAT-User's guide.** 9.4. Cary, NC, USA: SAS Inst, Inc, 2018.

SAUNOIS, M. et al. **The global methane budget 2000–2012.** Earth Syst. Sci. Data. 8(2), 697–751. <https://doi.org/10.5194/essd-8-697-016> (2016).

SAVIAN, J. V., et al. Rotatinuous stocking: **A grazing management innovation that has high potential to mitigate methane emissions by sheep.** Journal of cleaner production, v. 186, p. 602-608, 2018.

SEEG. Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa. Disponível em: www.seeg.eco.br/. Acesso em: 10 de fevereiro de 2023. In

SENTELHAS, P.A. Agricultura irrigada no Brasil: Ciência e Tecnologia. Capítulo 11. **Variabilidade e mudanças climáticas no contexto da agricultura irrigada**. 2022. 434p. Piracicaba-Sp. DOI: 10.11606/9786587391236.

SILVA, B. A., et al. **Análise Espacial da Cobertura Arbórea em Paisagem de Assentamentos de Reforma Agrária Em Araras (SP, BRASIL)**. RAEGA - O Espaço Geográfico em Análise, [S.l.], v. 51, p. 81-101, ago. 2021. ISSN 2177-2738. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/raega/article/view/70197>>. Acesso em: 09 set. 2022. doi:<http://dx.doi.org/10.5380/raega.v51i0.70197>.

SILVA, R.O., BARIONI, L.G., MORAN, D. (2021a) Fire, deforestation, and livestock: When the smoke clears. *Land Use Policy*, v. 100, p. 104949.

SILVA, J. F. C. **Mecanismos reguladores de consumo**. In: BERCHIELLI, T. T.; PIRES, A. V.; OLIVEIRA, S. G. *Nutrição de Ruminantes*. Jaboticabal: FUNEP, 2011, 616p.

SILVA, R., et al. **Práticas para a mitigação do impacto da agropecuária nas alterações climáticas**. *Revista Portuguesa de Zootecnia*, v. 7, n. 1, p. 1-17, 2022.

SILVA, S. C. D.; SBRISIA, A. F.; PEREIRA, L. E. T. **Ecophysiology of C 4 forage grasses—understanding plant growth for optimising their use and management**. *Agriculture*, v. 5, n. 3, p. 1-28, 2015.

SILVA, S. C. da; NASCIMENTO JÚNIOR, D. do. **Avanços na pesquisa com plantas forrageiras tropicais em pastagens: características morfofisiológicas e manejo do pastejo**. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 36, p. 122-138, 2007.

SOARES, A. B., et al. **Produção animal e de forragem em pastagem nativa submetida a distintas ofertas de forragem**. *Ciência Rural*, v. 35, p. 1148-1154, 2005.

SOUZA, J. A. S. (2018). **Produção de gramíneas forrageiras dos gêneros *Urochloa* e *Megathyrsus* nas condições edafoclimáticas de Manaus, AM**. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1092836>. [Acessado em 05 de dez. de 2022].

STEFENONI, H. A. et al. **Effects of the macroalga *Asparagopsis taxiformis* and oregano leaves on methane emission, rumen fermentation, and lactational performance of dairy cows.** *Journal of dairy science*, v. 104, n. 4, p. 4157-4173, 2021.

SUESCUN-OSPINA, S. T. et al. **Effects of País grape marc inclusion in high and low forage diets: ruminal fermentation, methane production and volatile fatty acids.** *Italian Journal of Animal Science*, v. 21, n. 1, p. 924-933, 2022.

TEDESCHI, L. O. et al. **Quantification of methane emitted by ruminants: A review of methods.** *Journal of Animal Science*, v. 100, n. 7, p. skac197, 2022.

TILLEY, J. M. A.; TERRY, R. A. **A two-stage technique for the in vitro digestion of forage crops.** *Grass and Forage Science*, vol. 18, n° 2, p. 104–111, jun. 1963. DOI 10.1111/j.1365-2494.1963.tb00335.x.

USEPA (United States Environmental Protection Agency). (2022). Evaluating Ruminant Livestock Efficiency Projects and Programs. **Peer Review Draft** (p.48). USEPA: Washington, D.C.

VALADARES FILHO SC E PINA DS (2011). **Ruminal fermentation. Ruminant nutrition.** 2nd ed. Jaboticabal, SP, Brazil: Funep, 151-82.

VAN SOEST, P. J. **Nutritional ecology of the ruminant.** 2^a.ed. Cornell University Press, Ithaca, NY, USA, 1994. 476 p.

VAN SOEST, P. J.; ROBERTSON, J. B.; LEWIS, B. A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. **Journal of Dairy Science**, v. 74, p. 3583, 1991.

VASCONCELOS, K. et al. **Livestock-derived greenhouse gas emissions in a diversified grazing system in the endangered Pampa biome, Southern Brazil.** *Land use policy*, v. 75, p. 442-448, 2018.

VASCONCELOS, S.; GONÇALVES, D. (2008). **Sequestro de carbono VS aquecimento global.** *Embrapa Amazônia Oriental*.

VIEIRA, M. J. **Uso intensivo de pastagens.** Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, 1997.

WANG AND LA GOONEWARDENE, Z. The use of MIXED models in the analysis of animal experiments with repeated measures data. **Canadian Journal of animal science**, v. 84, n. 1, p. 1-11, 2004.

WEISS, W.P. **Energy prediction equations for ruminant feeds**. In: CORNELL NUTRITION CONFERENCE FOR FEED MANUFACTURERS. Proceedings... Ithaca: Cornell University, v. 61, p.176-185, 1999.

WESTBERG, H.H.; JOHNSON, K.A.; COSSALMAN, M.W.; MICHAL, J.J. **A SF₆ tracer technique: methane measurement from ruminants**. Washington State University, Pullman, Washington, 1998. 40p.

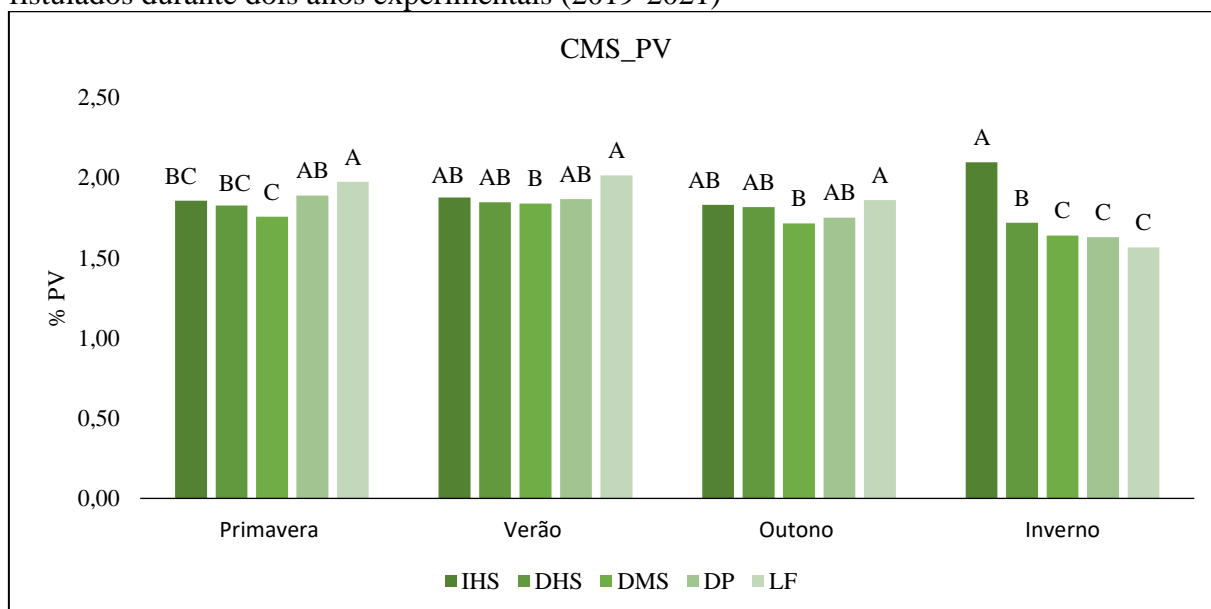
ZHANG, Y. et al. Reduced grazing pressure delivers production and environmental benefits for the typical steppe of north China. **Scientific Reports**, v. 5, n. 1, p. 1-11, 2015.

ZUBIETA, A. S. et al. Does grazing management provide opportunities to mitigate methane emissions by ruminants in pastoral ecosystems?. **Science of the Total Environment**, v. 754, p. 142029, 2021.

ZUCHIWSCHI, E.; FANTINI A. C.; ALVES, A. C. E PERONI, N. **Limitações ao uso de espécies florestais nativas pode contribuir com a erosão do conhecimento ecológico tradicional e local de agricultores familiares**. Acta Botânica Brasílica, Belo Horizonte, v. 24, n. 1, p. 270-282, 2010.

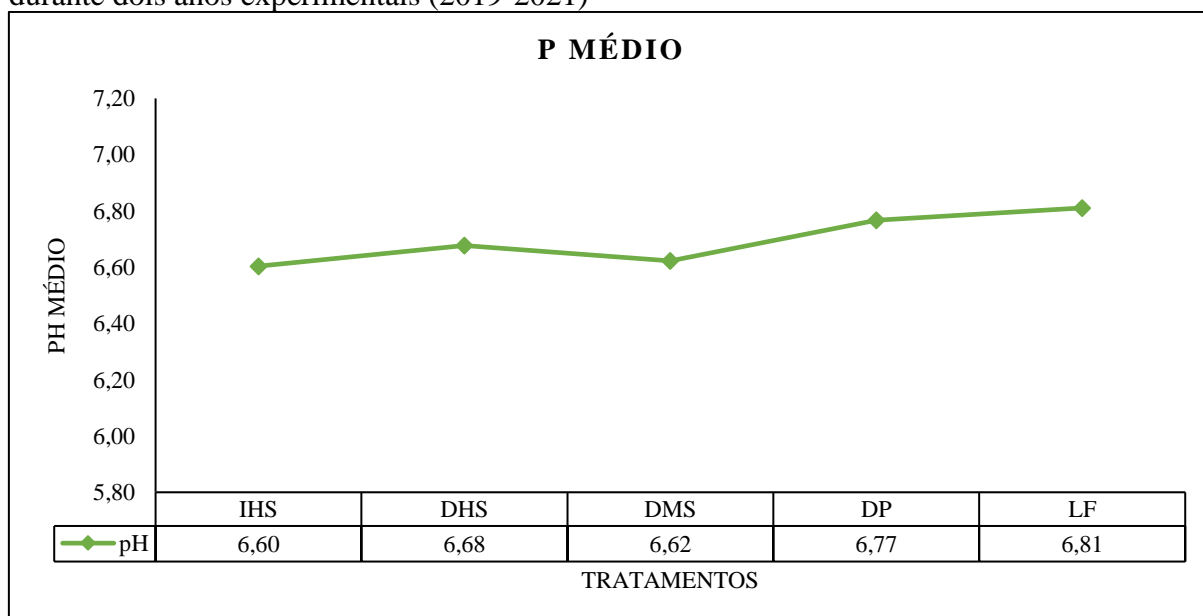
APÊNDICE A

Consumo de matéria seca, em % do peso vivo, nos diferentes tratamentos de bovinos Nelore fistulados durante dois anos experimentais (2019-2021)



Fonte: Lobo (2023)

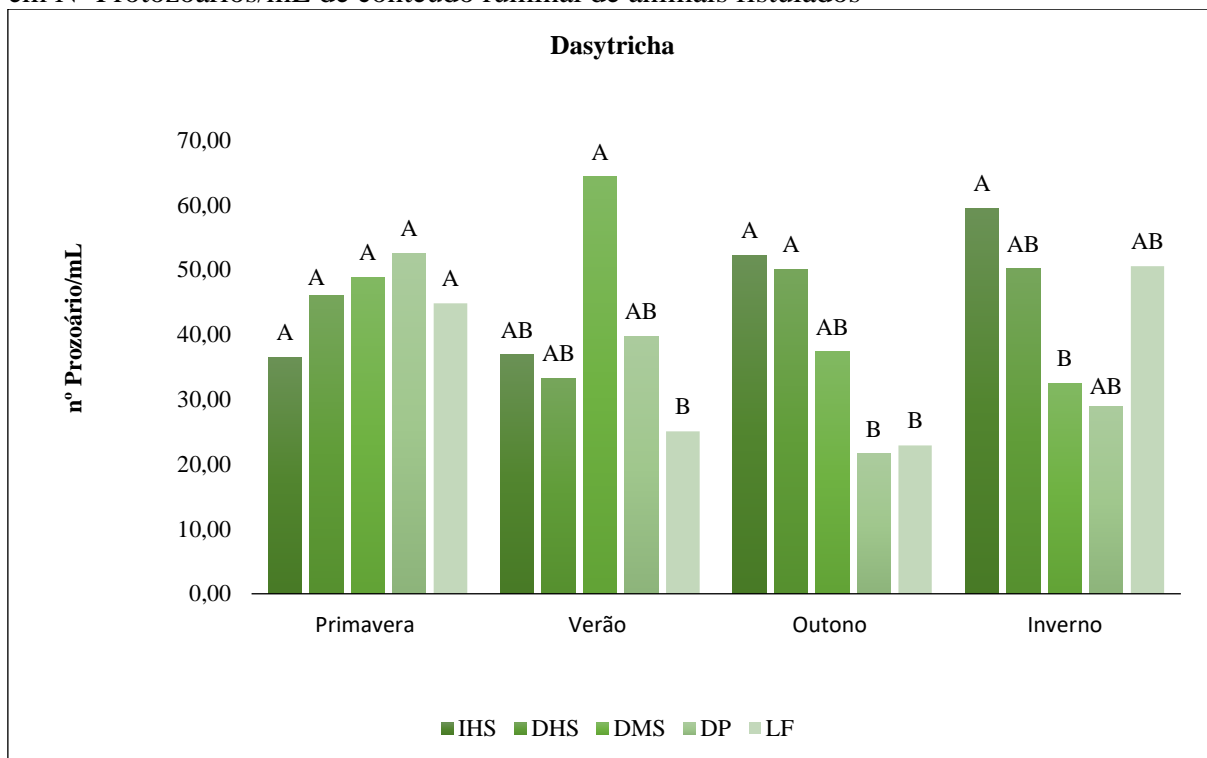
pH médio de bovinos Nelore fistulados nos diferentes tratamentos de bovinos Nelore fistulados durante dois anos experimentais (2019-2021)



Fonte: Lobo (2023)

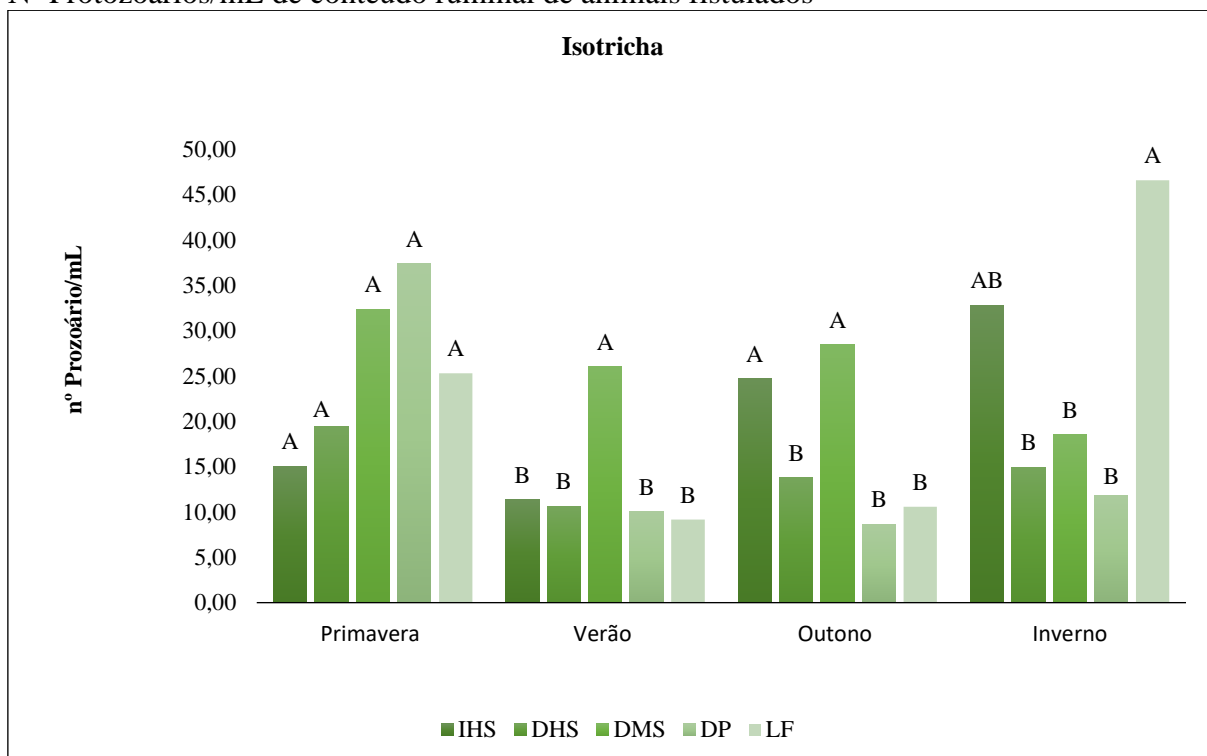
APÊNDICE B

Interação entre tratamento e estação: variável contagem de protozoário do gênero *Dasytricha*, em N° Protozoários/mL de conteúdo ruminal de animais fistulados



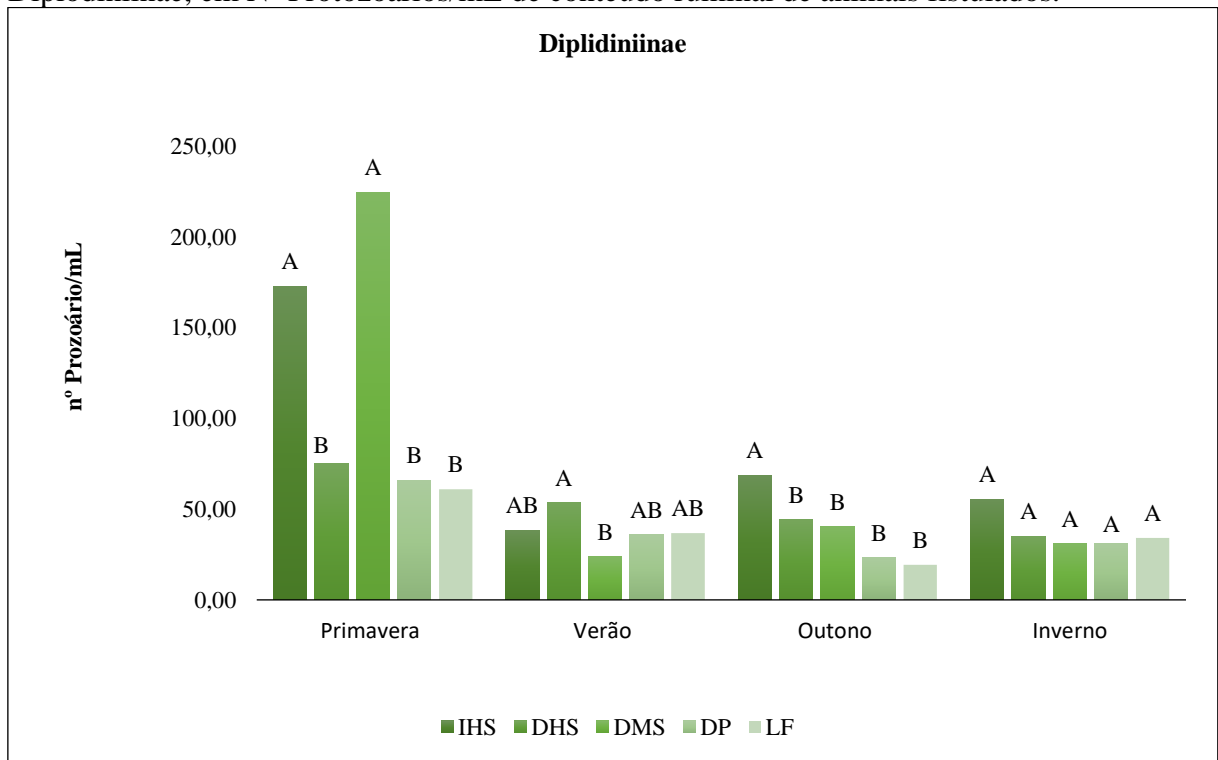
Fonte: Lobo (2023)

Interação entre tratamento e estação: variável contagem de protozoário do gênero *Isotricha*, em N° Protozoários/mL de conteúdo ruminal de animais fistulados



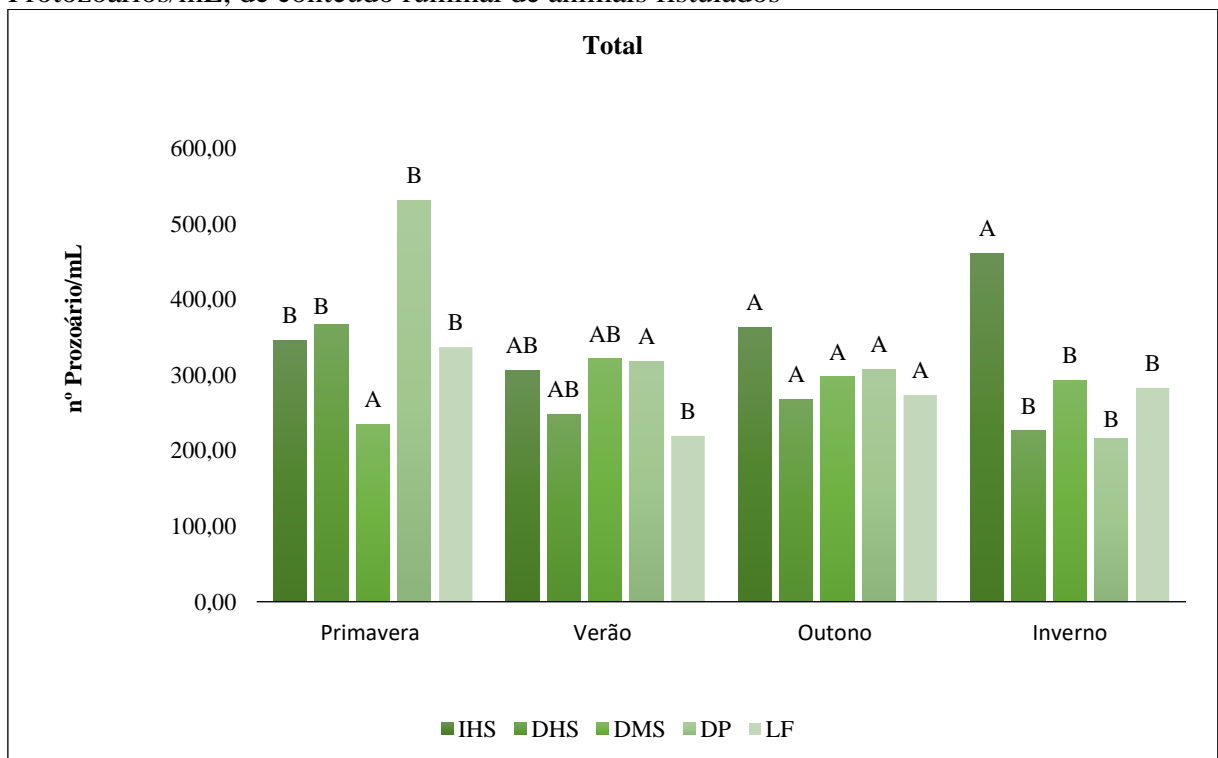
Fonte: Lobo (2023)

Interação entre tratamento e estação: variável contagem de protozoário da subfamília Diplodiniinae, em N° Protozoários/mL de conteúdo ruminal de animais fistulados.



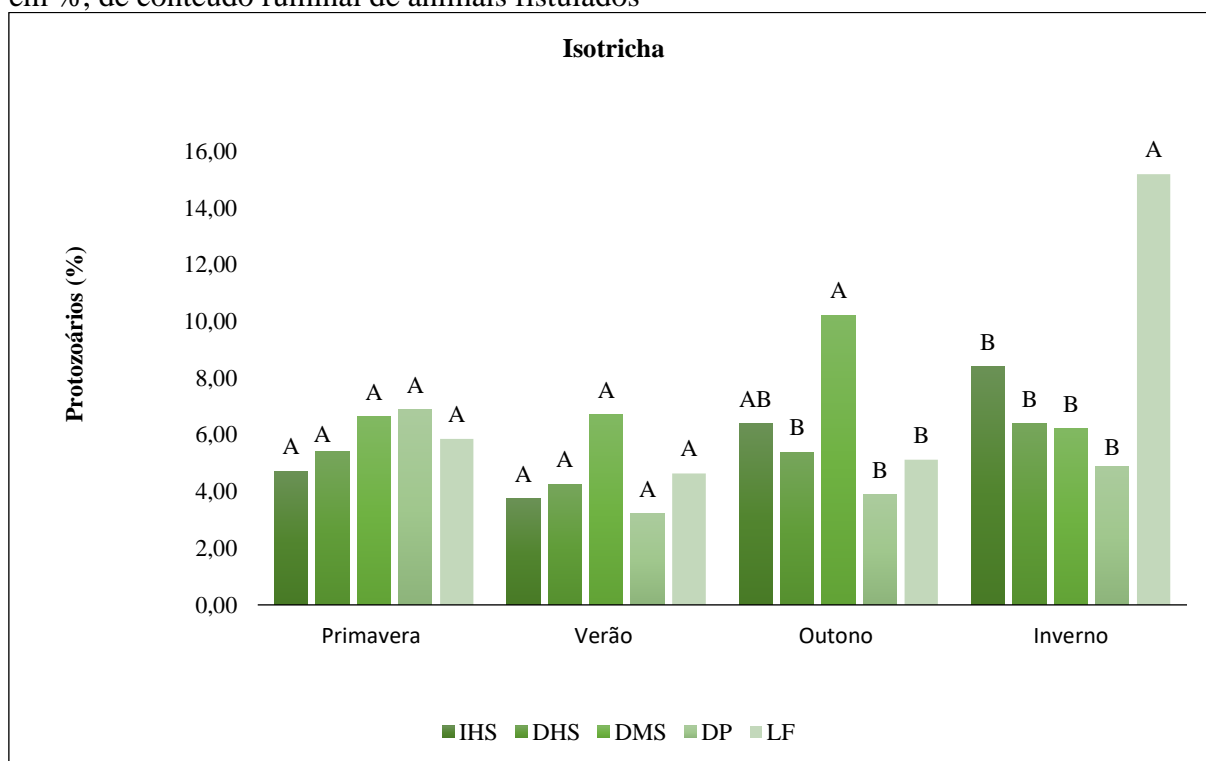
Fonte: Lobo (2023)

Interação entre tratamento e estação: variável contagem total de protozoário, em N° Protozoários/mL, de conteúdo ruminal de animais fistulados



Fonte: Lobo (2023)

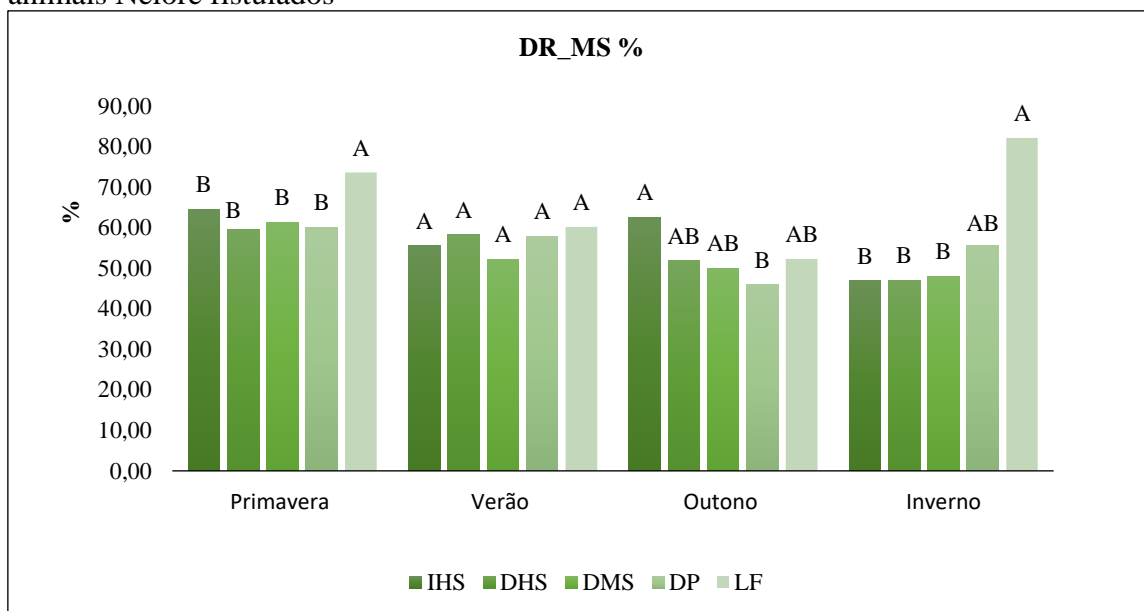
Interação entre tratamento e estação: variável contagem de protozoário do gênero *Isotricha*, em %, de conteúdo ruminal de animais fistulados



Fonte: Lobo (2023)

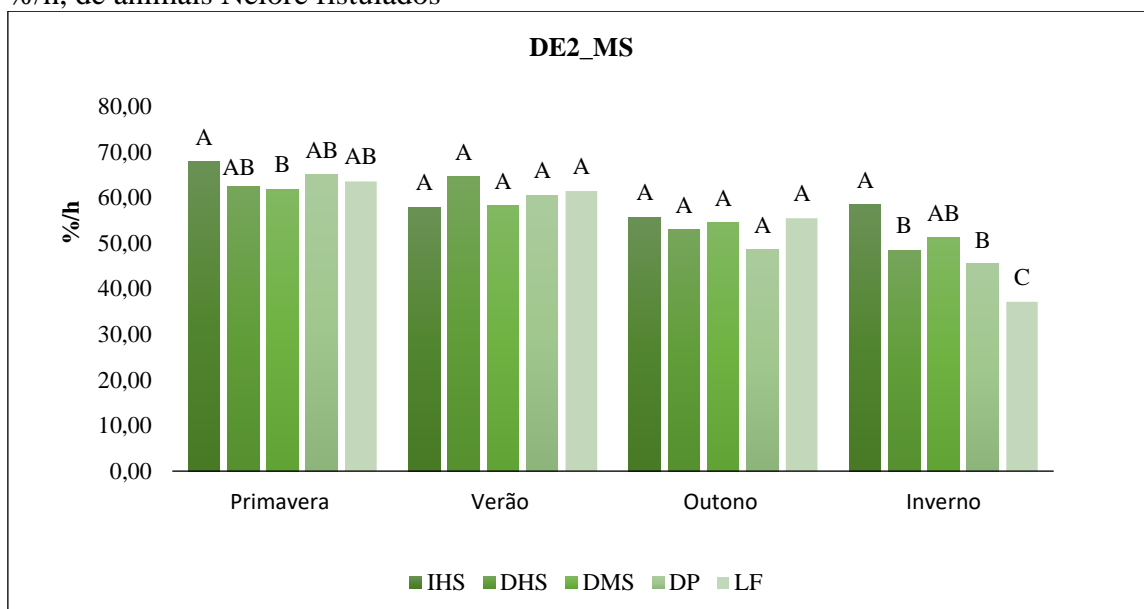
APÊNDICE C

Interação entre tratamento e estação: degradabilidade real da matéria seca, em %, de animais Nelore fistulados



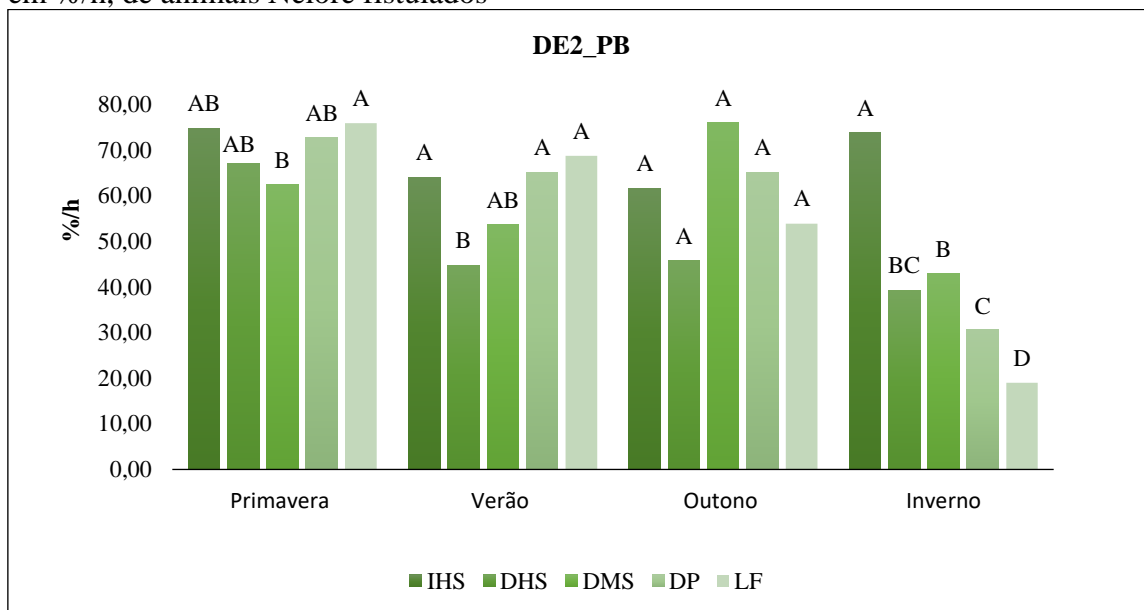
Fonte: Lobo (2023)

Interação entre tratamento e estação: taxa de passagem ruminal da matéria seca a 2%, em %/h, de animais Nelore fistulados



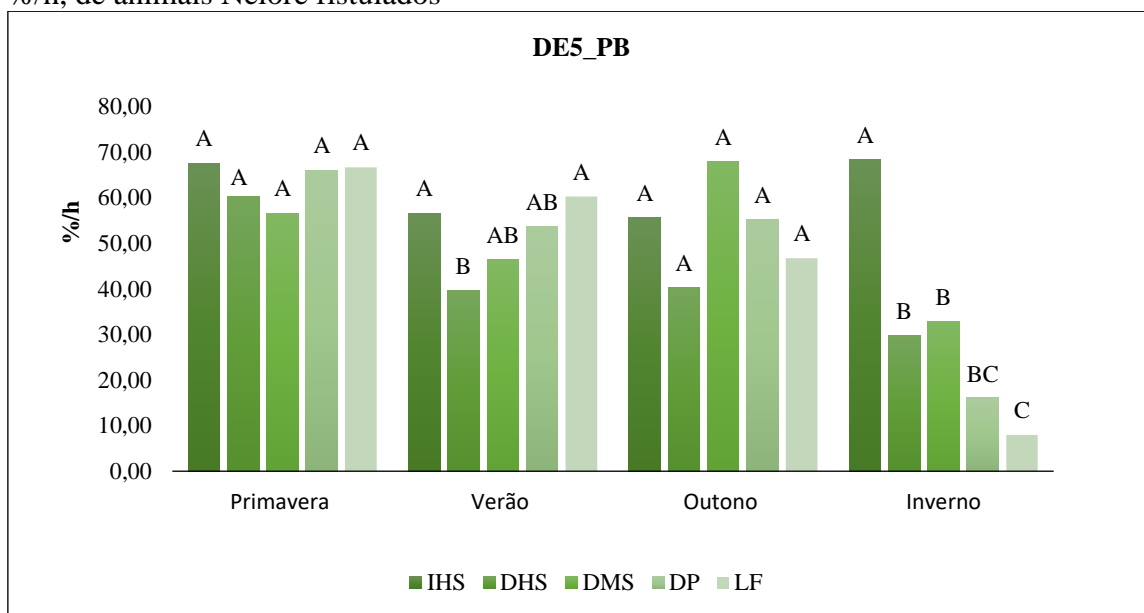
Fonte: Lobo (2023)

Interação entre tratamento e estação: taxa de passagem ruminal da proteína bruta a 2%, em %/h, de animais Nelore fistulados



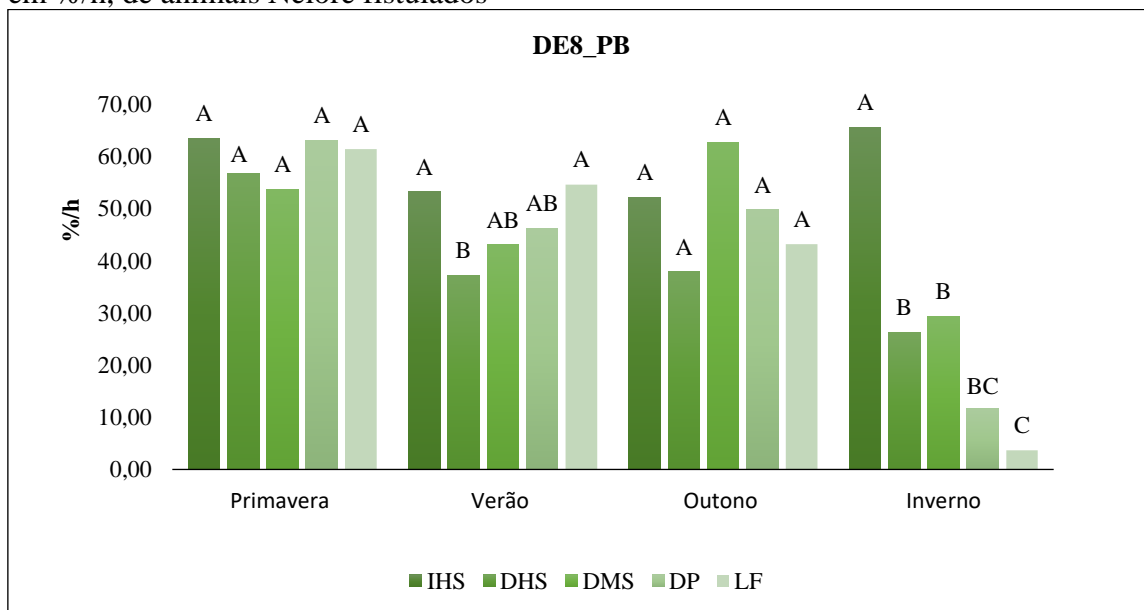
Fonte: Lobo (2023)

Interação entre tratamento e estação: taxa de passagem ruminal da proteína bruta a 5%, em %/h, de animais Nelore fistulados



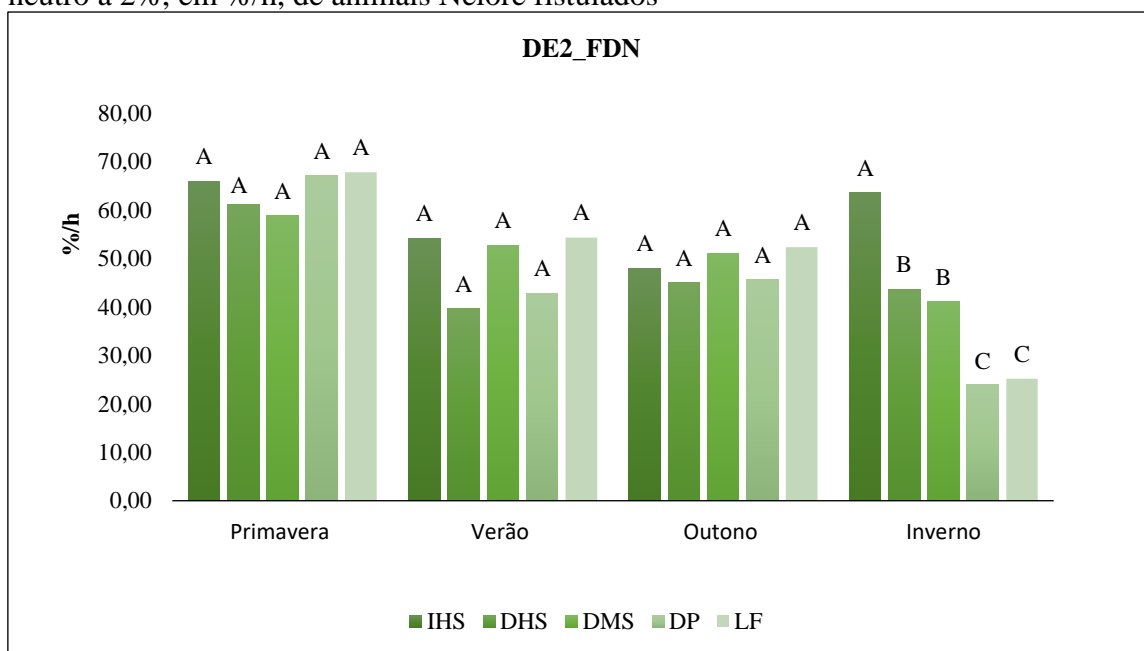
Fonte: Lobo (2023)

Interação entre tratamento e estação: taxa de passagem ruminal da proteína bruta a 8%, em %/h, de animais Nelore fistulados



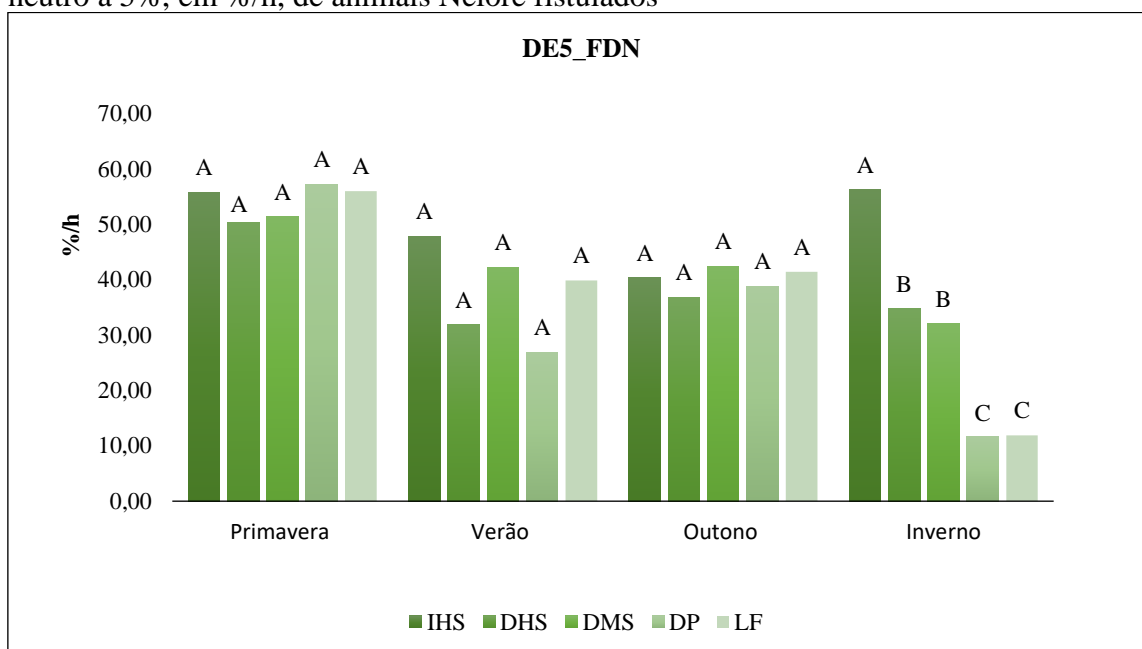
Fonte: Lobo (2023)

Interação entre tratamento e estação: taxa de passagem ruminal da fibra em detergente neutro a 2%, em %/h, de animais Nelore fistulados



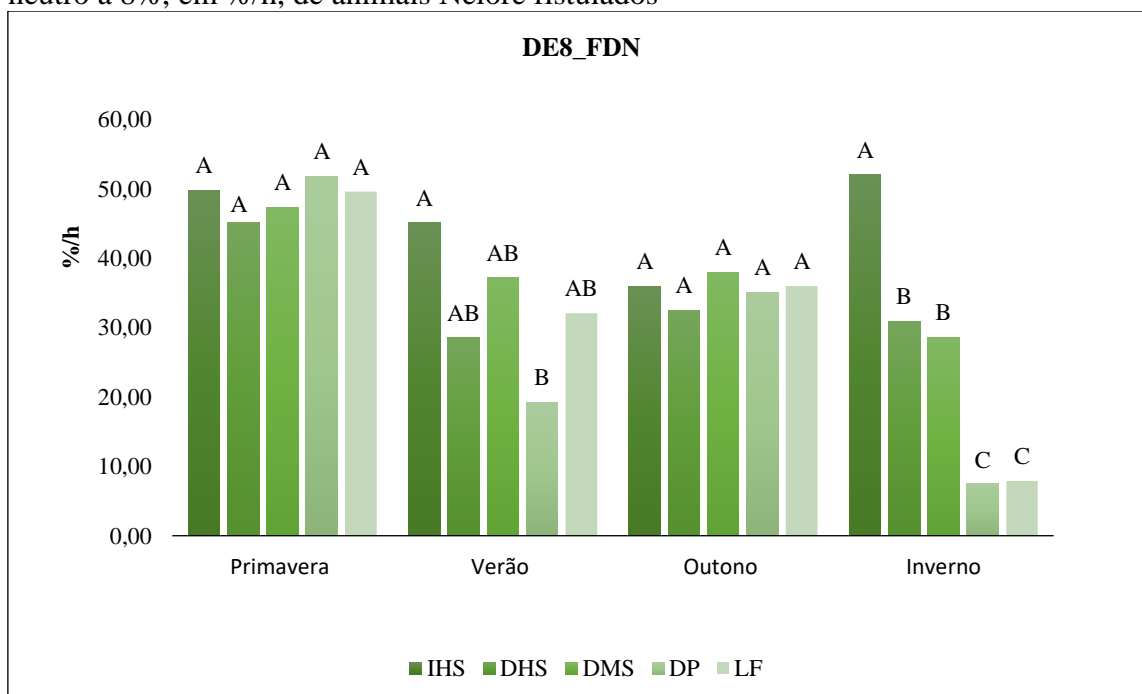
Fonte: Lobo (2023)

Interação entre tratamento e estação: taxa de passagem ruminal da fibra em detergente neutro a 5%, em %/h, de animais Nelore fistulados



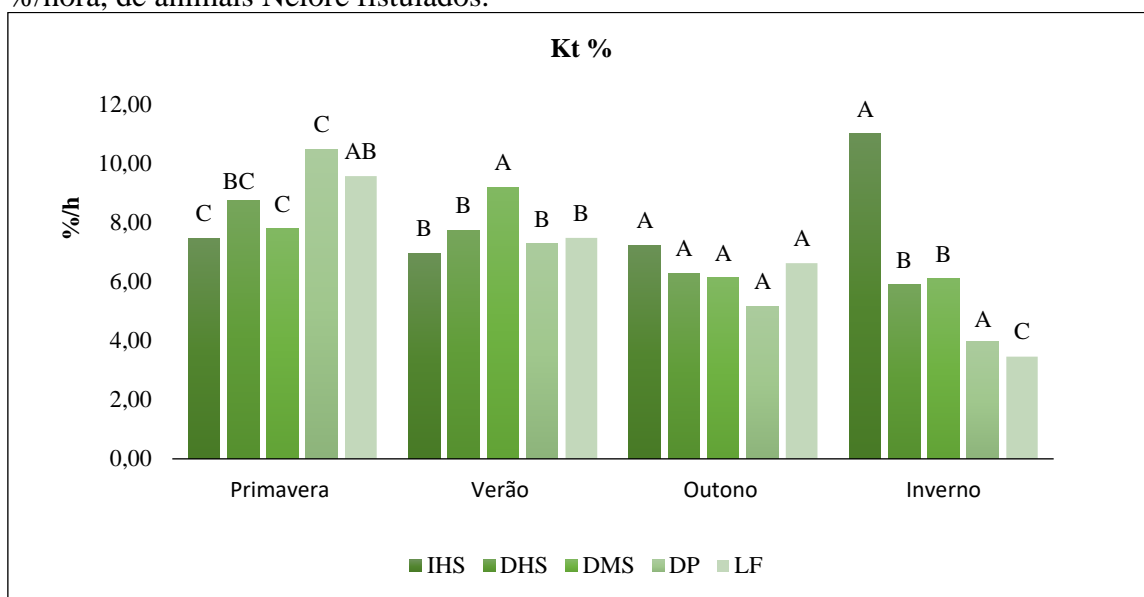
Fonte: Lobo (2023)

Interação entre tratamento e estação: taxa de passagem ruminal da fibra em detergente neutro a 8%, em %/h, de animais Nelore fistulados



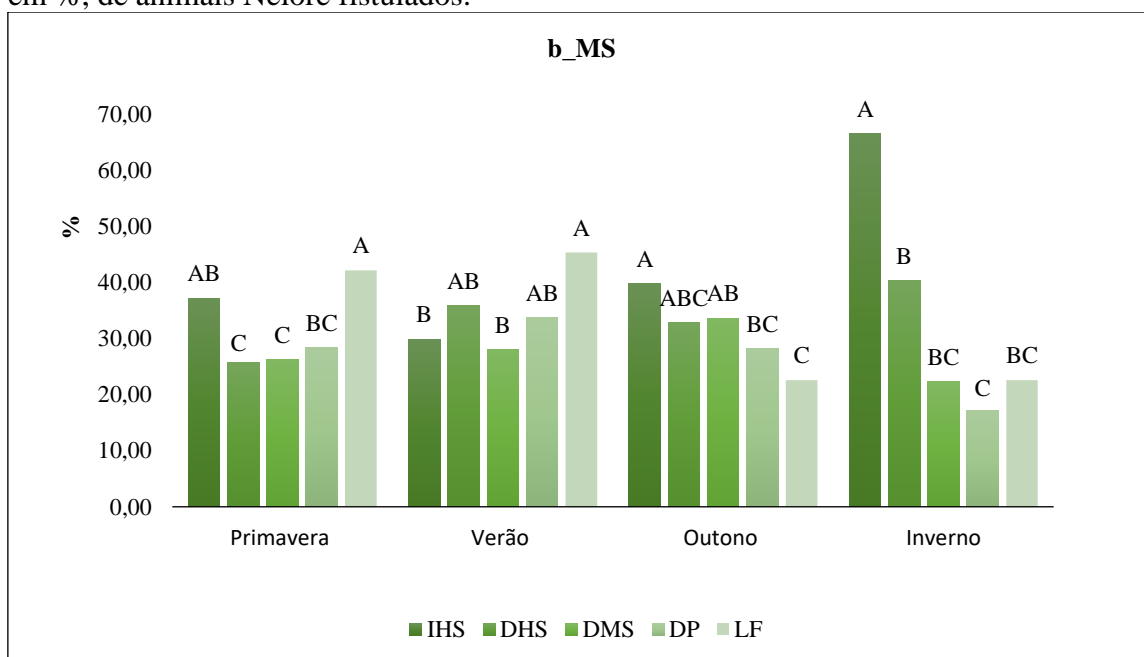
Fonte: Lobo (2023)

Interação entre tratamento e estação: taxa de desaparecimento ruminal da matéria seca, em %/hora, de animais Nelore fistulados.



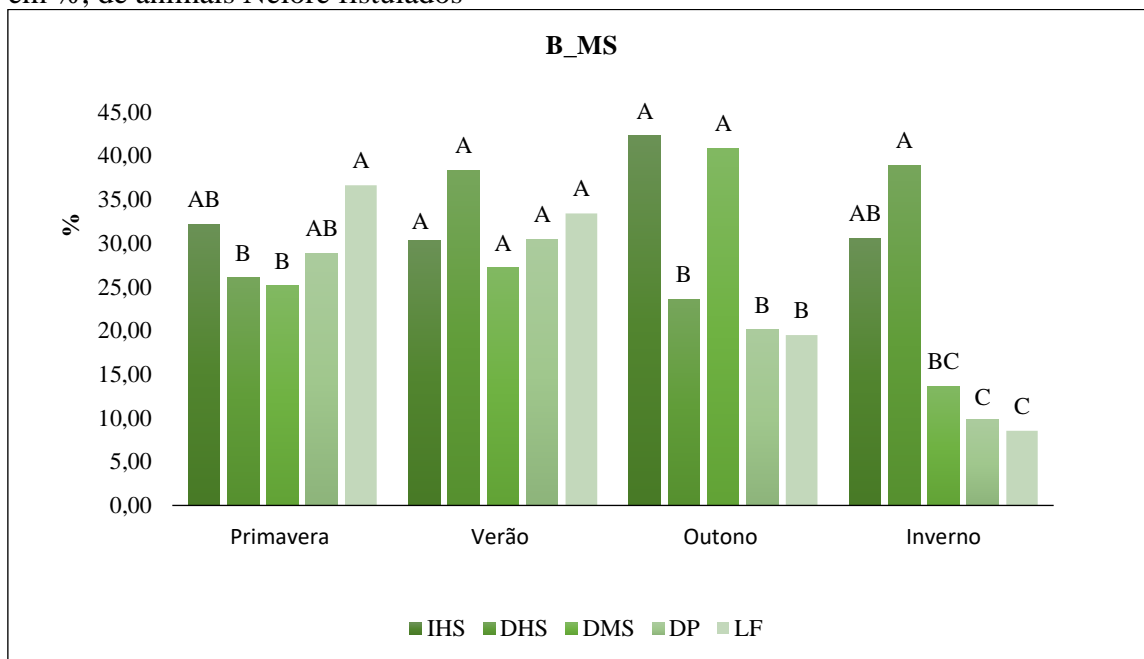
Fonte: Lobo (2023)

Interação entre tratamento e estação: fração potencialmente degradável (b) da matéria seca, em %, de animais Nelore fistulados.



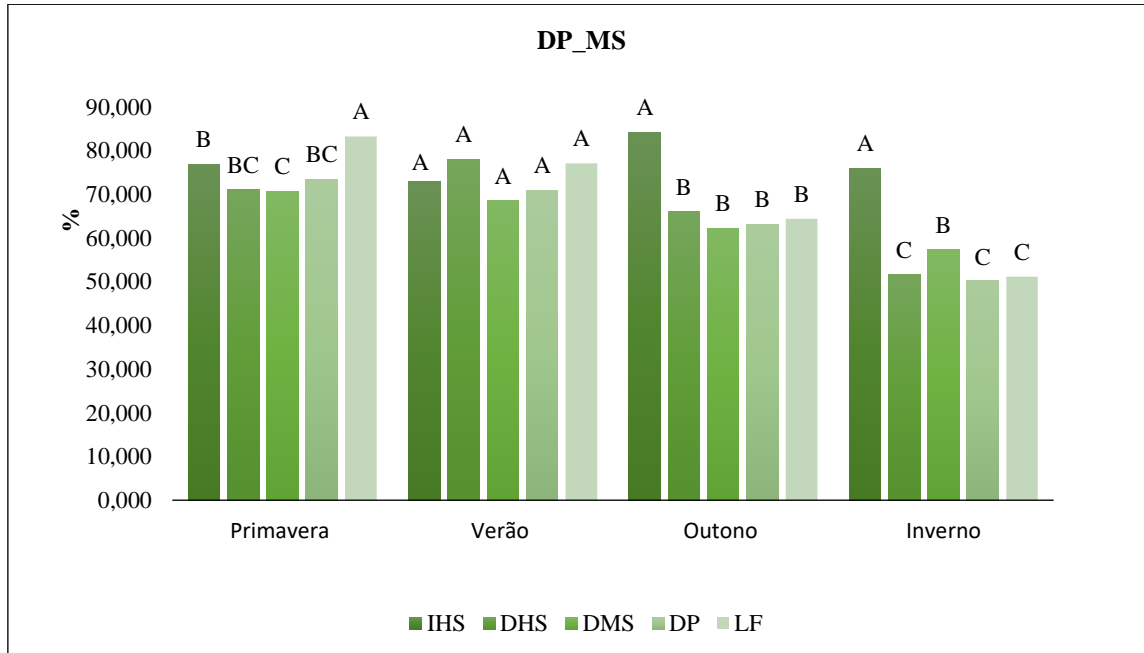
Fonte: Lobo (2023)

Interação entre tratamento e estação: fração potencialmente fermentescível da matéria seca, em %, de animais Nelore fistulados



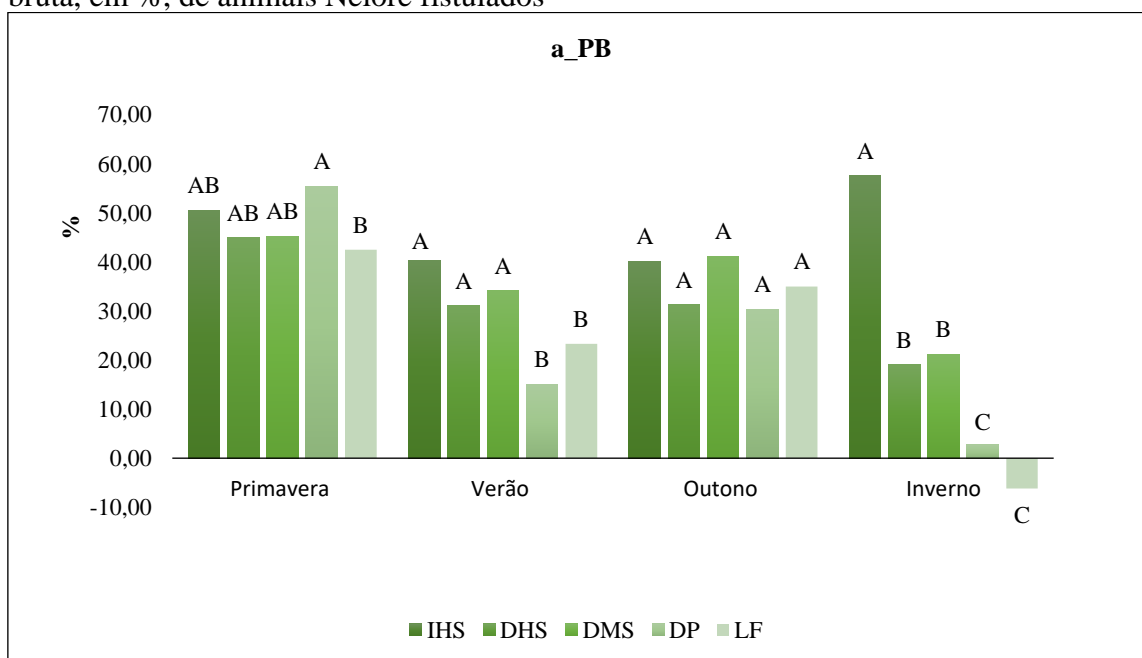
Fonte: Lobo (2023)

Interação entre tratamento e estação: degradabilidade potencial da matéria seca, em %, de animais Nelore fistulados.



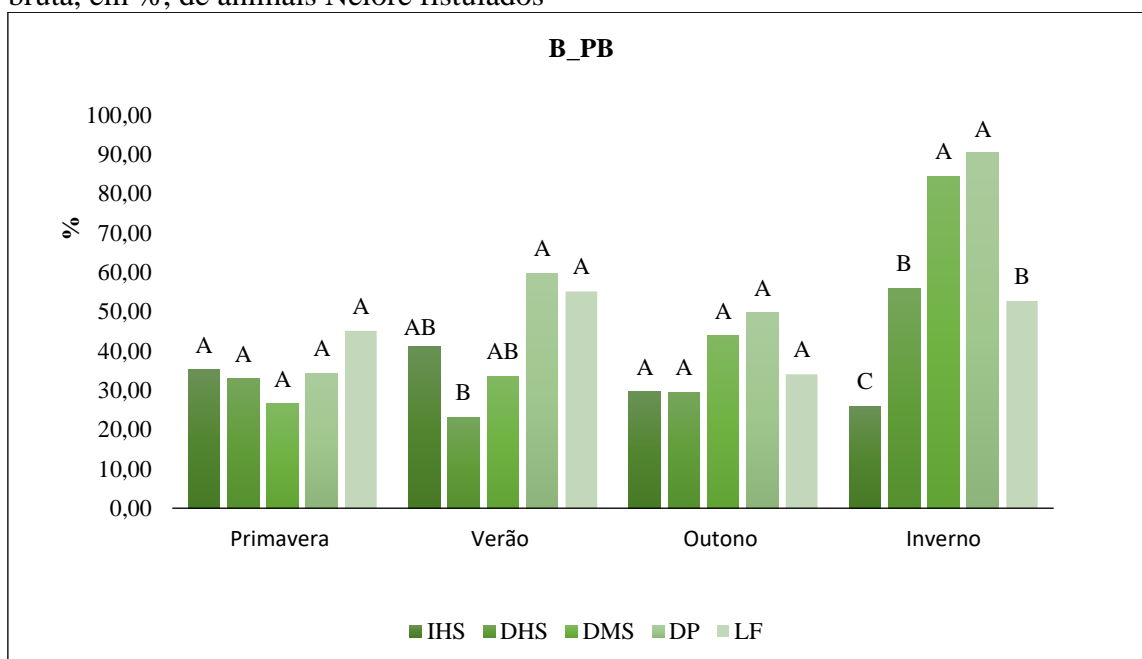
Fonte: Lobo (2023)

Interação entre tratamento e estação: interceptação da curva no tempo zero da proteína bruta, em %, de animais Nelore fistulados



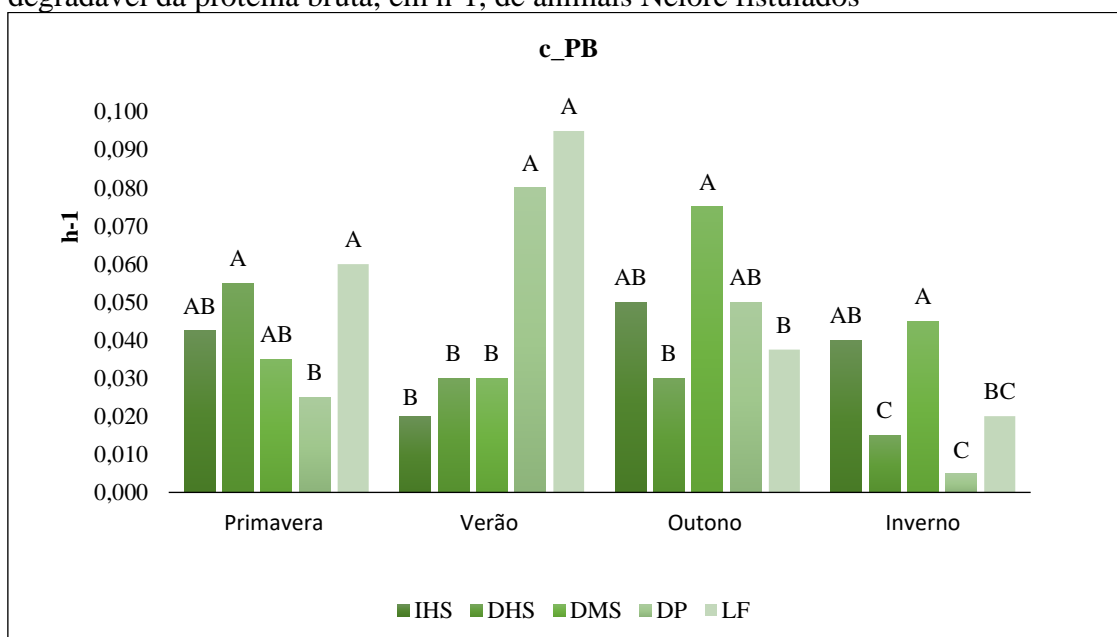
Fonte: Lobo (2023)

Interação entre tratamento e estação: fração potencialmente fermentescível da proteína bruta, em %, de animais Nelore fistulados



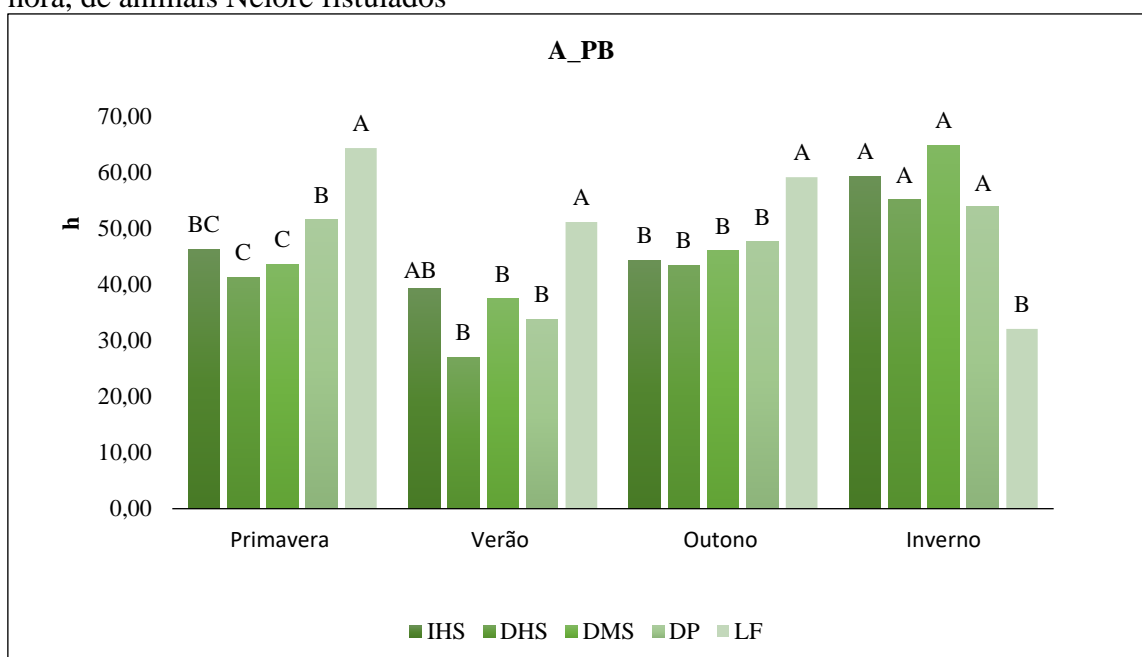
Fonte: Lobo (2023)

Interação entre tratamento e estação: taxa de degradação da fração potencialmente degradável da proteína bruta, em h-1, de animais Nelore fistulados



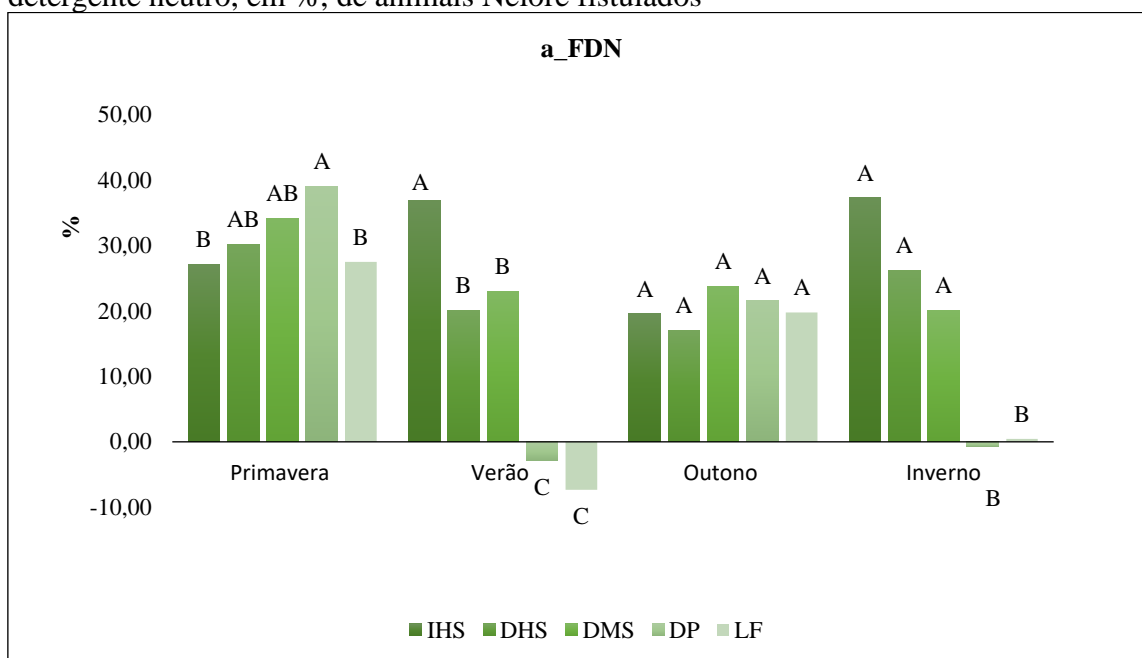
Fonte: Lobo (2023)

Interação entre tratamento e estação: fração potencialmente solúvel da proteína bruta, em hora, de animais Nelore fistulados



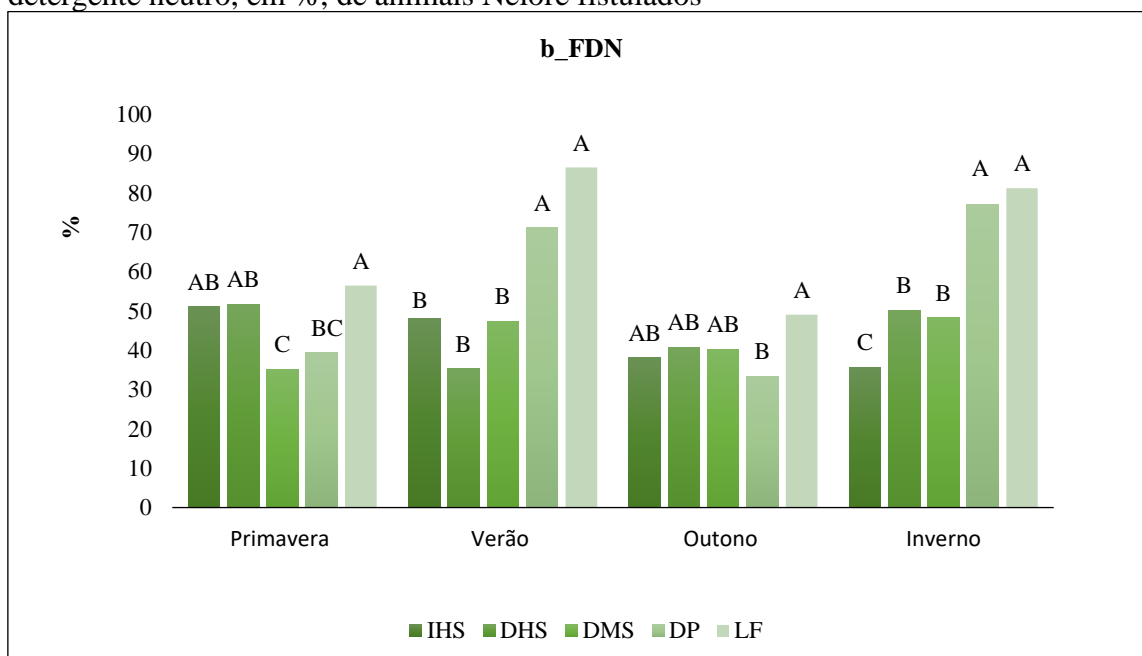
Fonte: Lobo (2023)

Interação entre tratamento e estação: interceptação da curva no tempo zero da fibra em detergente neutro, em %, de animais Nelore fistulados



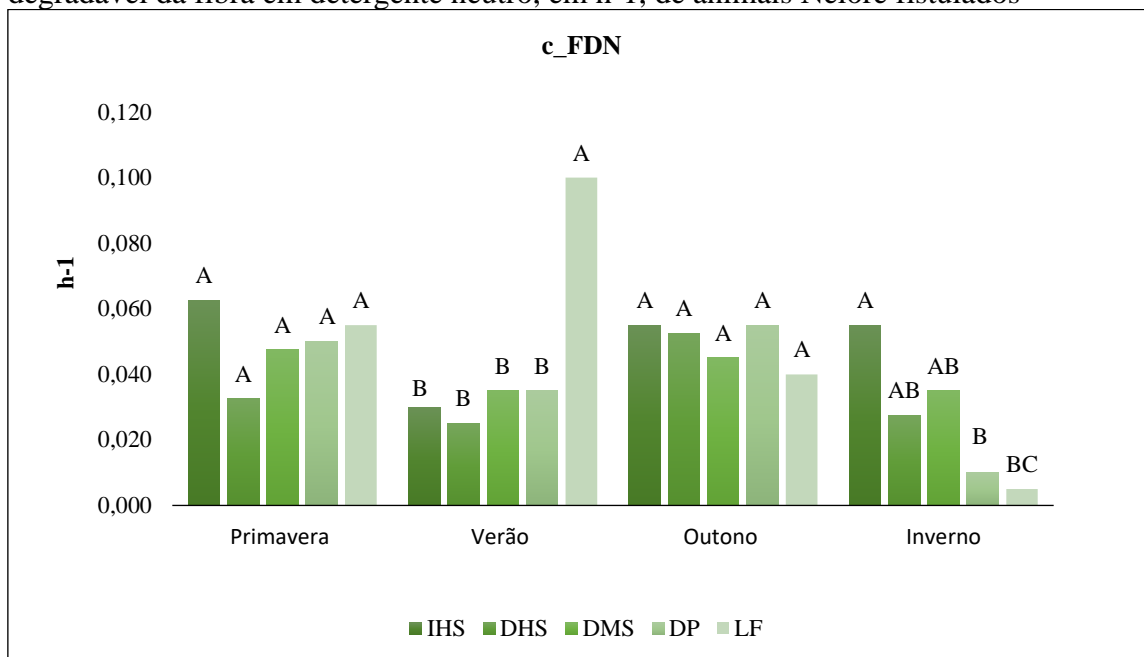
Fonte: Lobo (2023)

Interação entre tratamento e estação: fração potencialmente degradável (b) da fibra em detergente neutro, em %, de animais Nelore fistulados



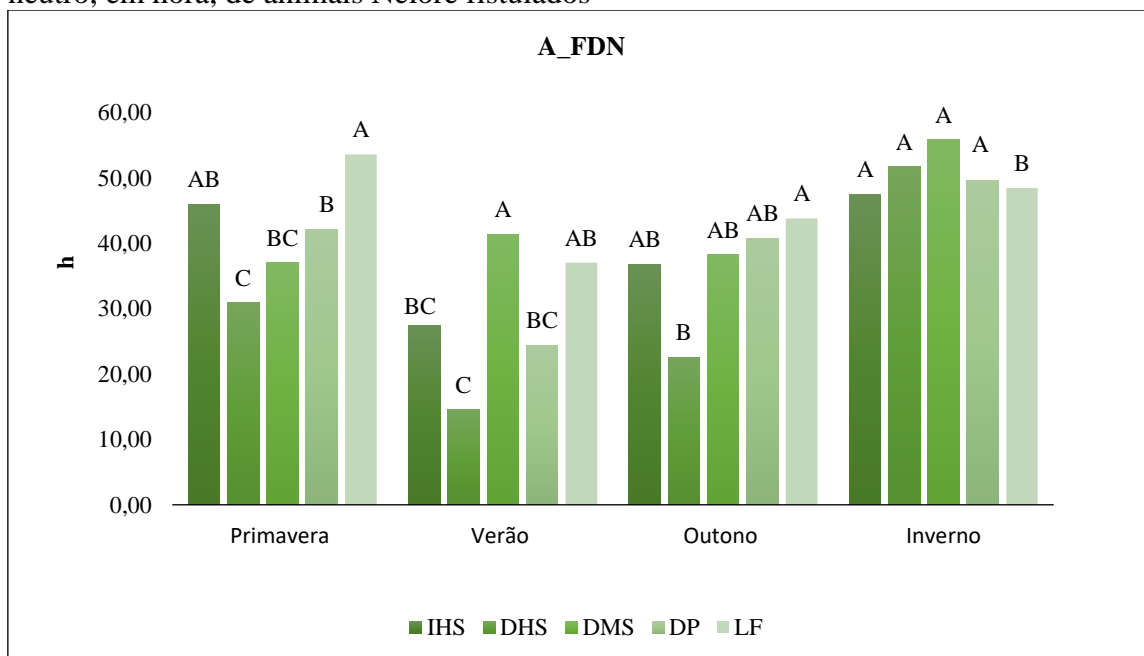
Fonte: Lobo (2023)

Interação entre tratamento e estação: taxa de degradação da fração potencialmente degradável da fibra em detergente neutro, em h-1, de animais Nelore fistulados



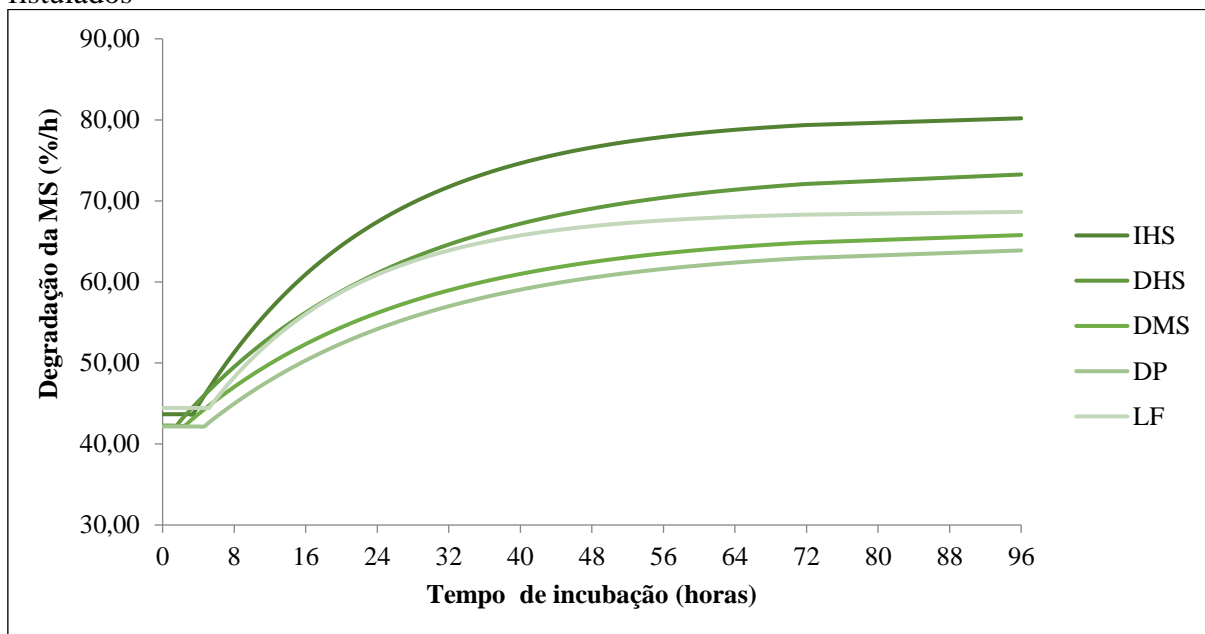
Fonte: Lobo (2023)

Interação entre tratamento e estação: fração potencialmente solúvel da fibra em detergente neutro, em hora, de animais Nelore fistulados



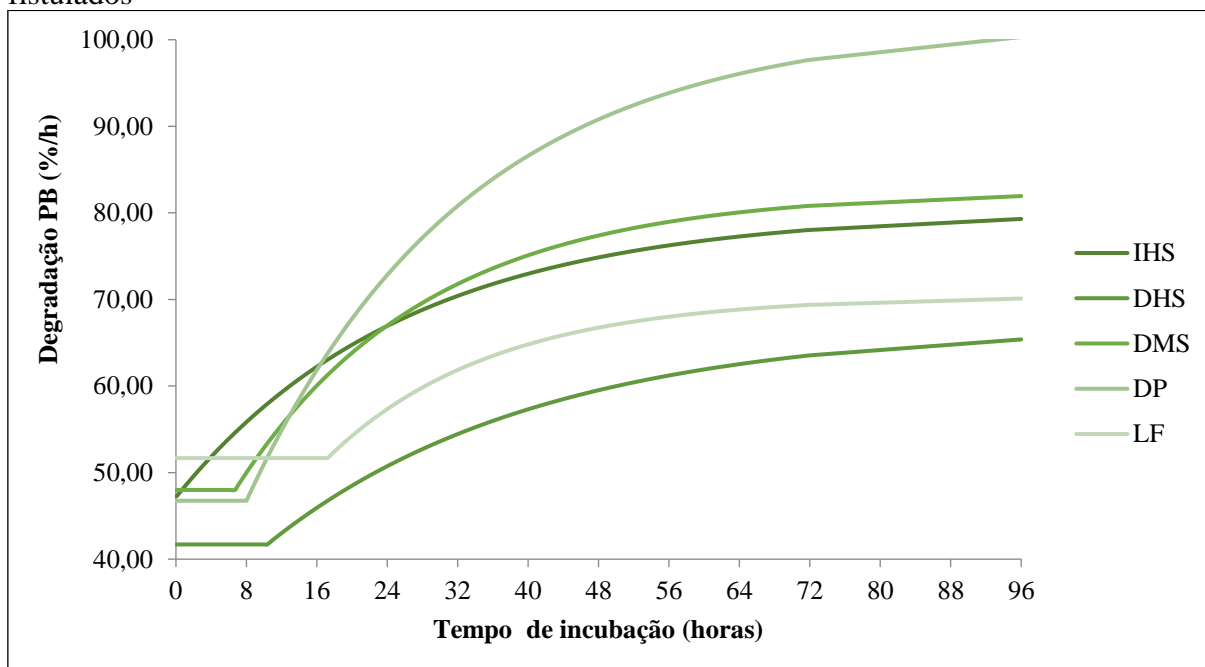
Fonte: Lobo (2023)

Lag time – matéria seca: degradação em %/h da forragem incubada em animais Nelore fistulados



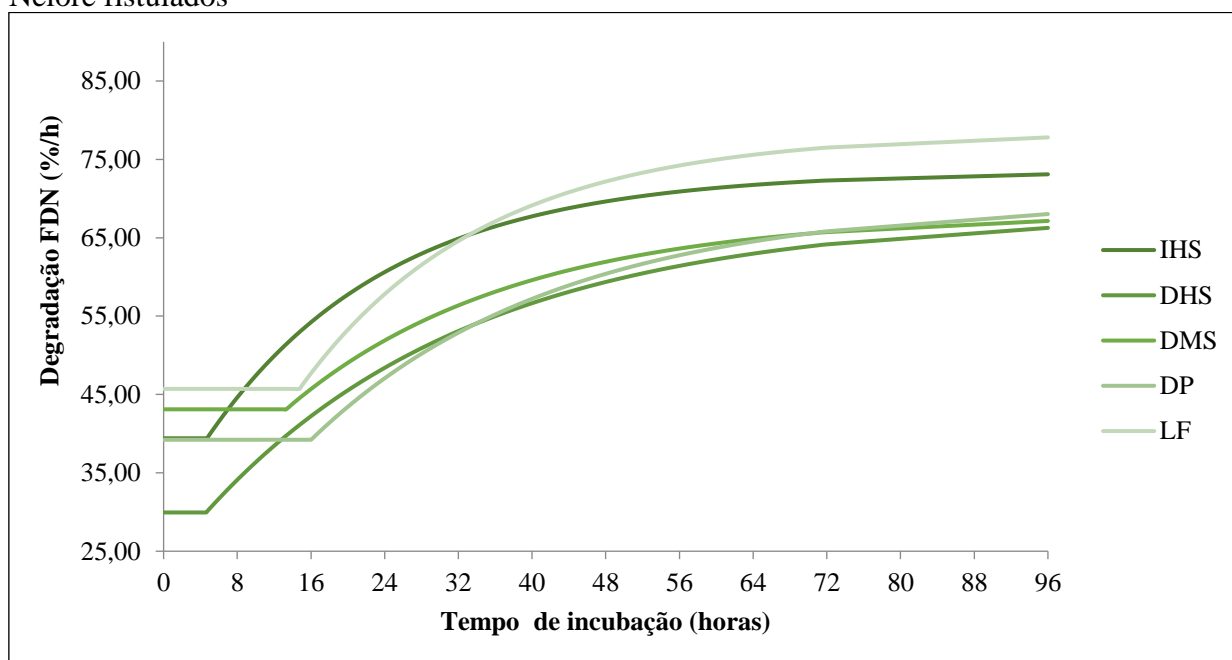
Fonte: Lobo (2023)

Lag time – proteína bruta: degradação em %/h da forragem incubada em animais Nelore fistulados



Fonte: Lobo (2023)

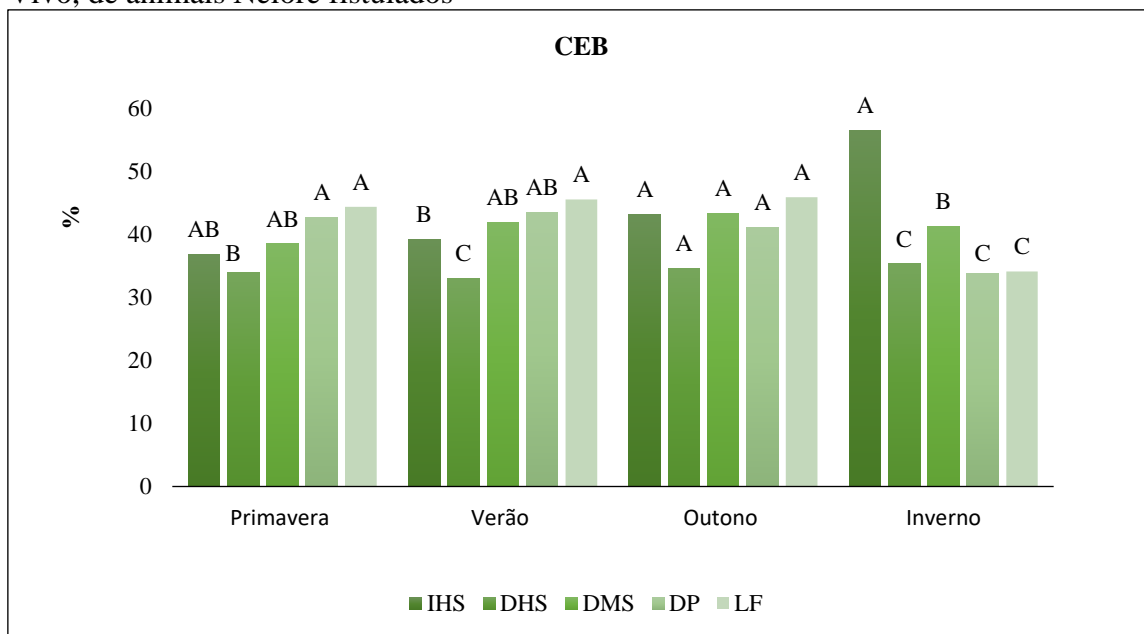
Lag time – fibra em detergente neutro: degradação em %/h da forragem incubada em animais Nelore fistulados



Fonte: Lobo (2023)

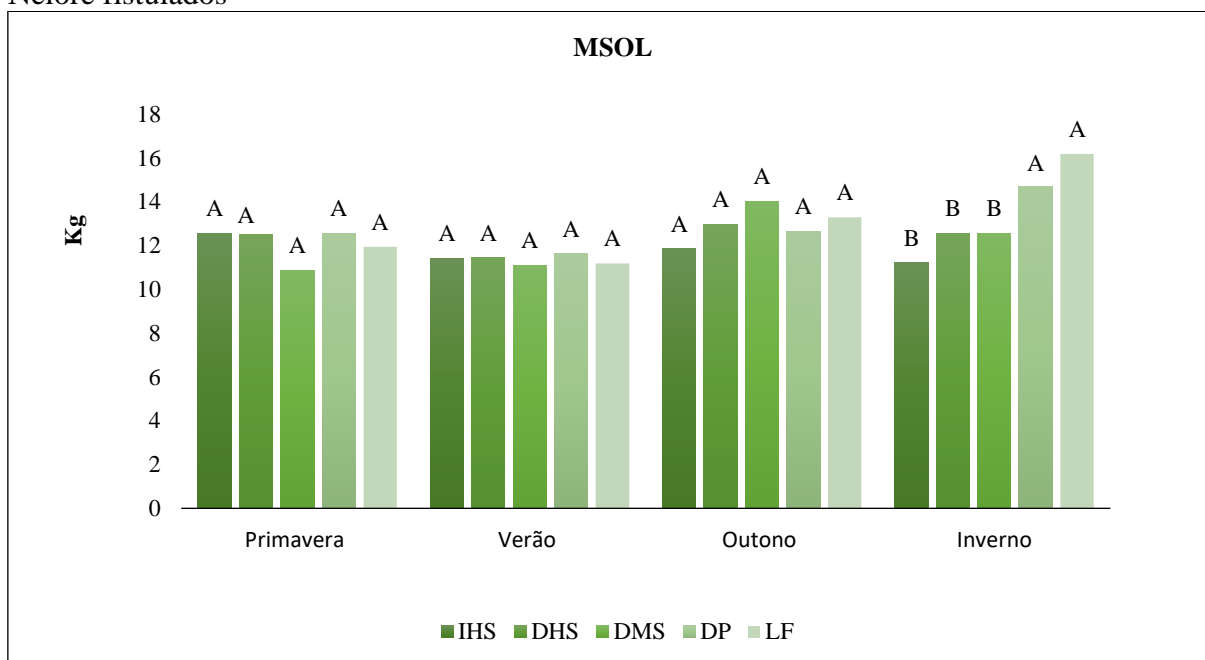
APÊNDICE D

Interação entre tratamento e estação: consumo de energia bruta, em Mcal/kg de Peso Vivo, de animais Nelore fistulados



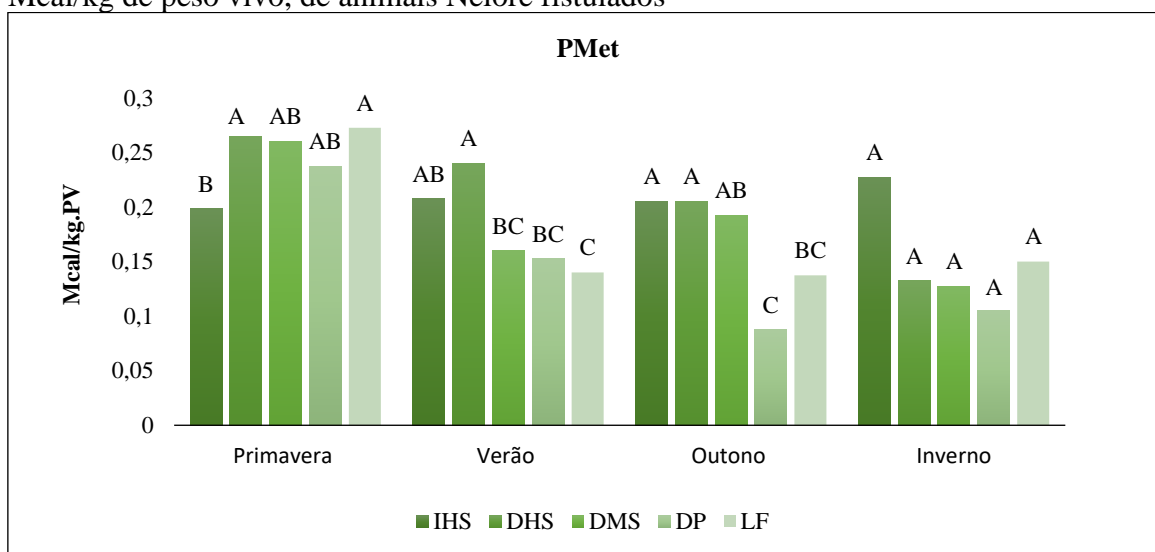
Fonte: Lobo (2023)

Interação entre tratamento e estação: massa do conteúdo sólido ruminal, em kg, de animais Nelore fistulados



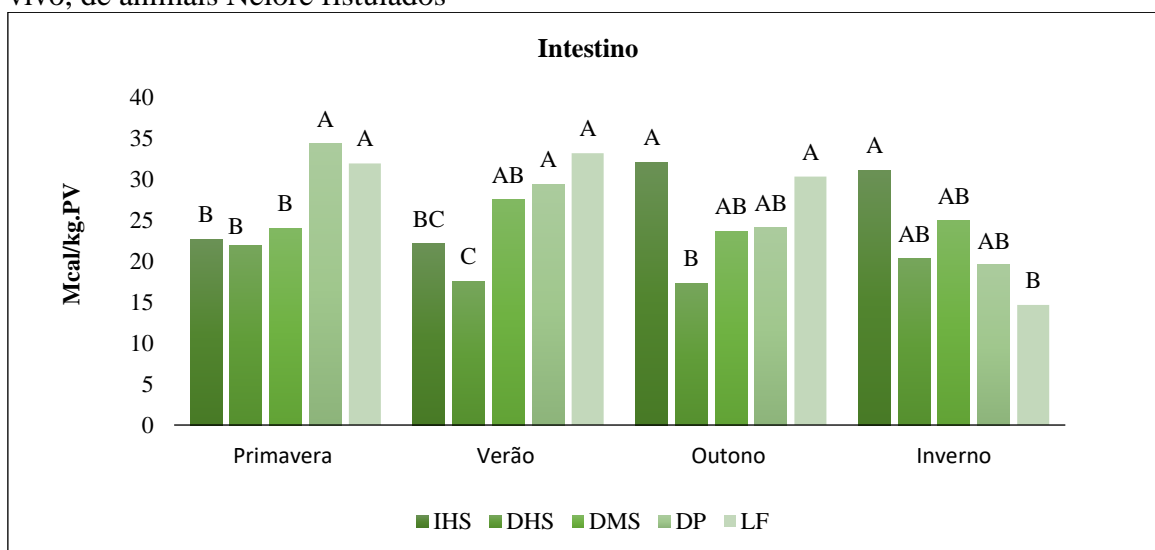
Fonte: Lobo (2023)

Interação entre tratamento e estação: energia liberada no rúmen em forma de metano, em Mcal/kg de peso vivo, de animais Nelore fistulados



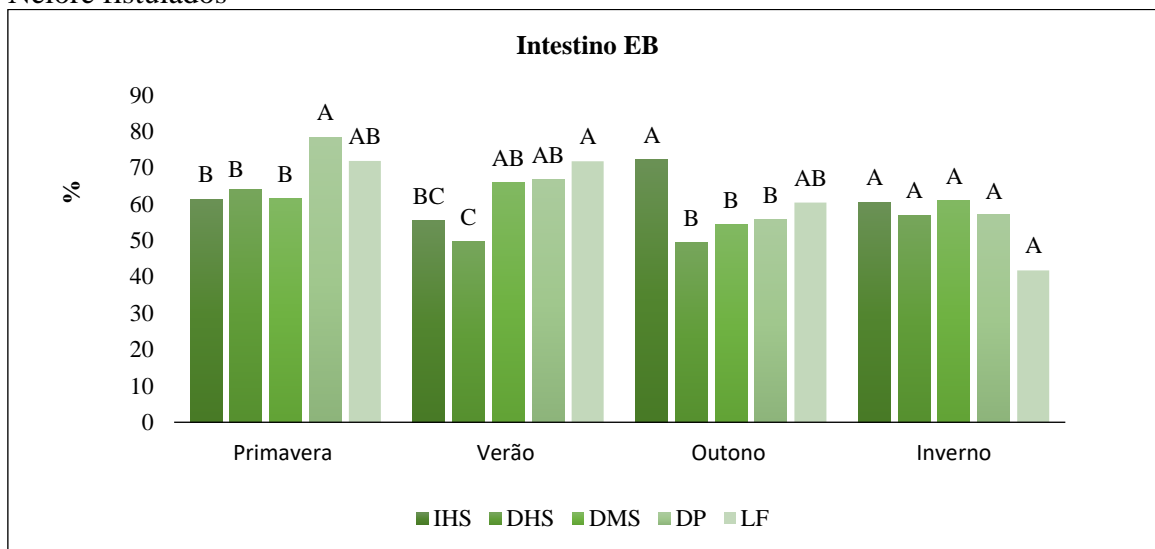
Fonte: Lobo (2023)

Interação entre tratamento e estação: energia liberada no intestino, em Mcal/kg de peso vivo, de animais Nelore fistulados



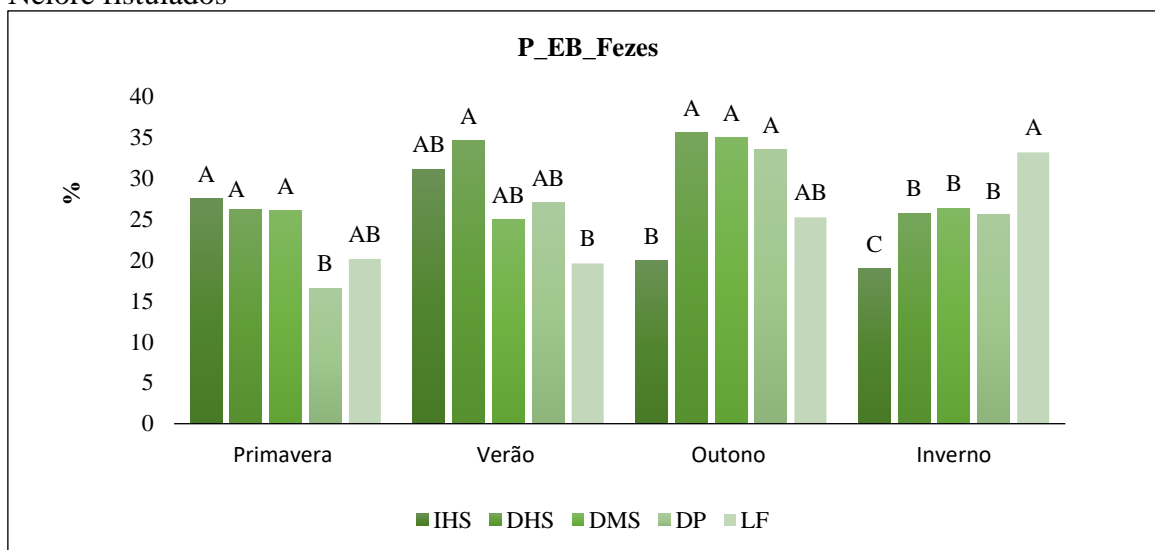
Fonte: Lobo (2023)

Interação entre tratamento e estação: energia bruta liberada no intestino, em %, de animais Nelore fistulados



Fonte: Lobo (2023)

Interação entre tratamento e estação: energia bruta liberada nas fezes, em %, de animais Nelore fistulados



Fonte: Lobo (2023)

APÊNDICE E

Desempenho de bovinos machos da raça Nelore e produtivas das pastagens em função de diferentes níveis de intensificação em sistemas pastoris de produção em diferentes estações do ano nos dois anos experimentais (2019-2021)

| Tratamentos | Estação | GMD | PV_F | Taxa Lotação | Massa Forragem Pré-Pastejo | Oferta de Forragem Verde |
|-----------------------------|-----------|----------------------|--------|----------------------|----------------------------|--------------------------|
| | | kg dia ⁻¹ | kg | kg dia ⁻¹ | kg de MS ha ⁻¹ | % |
| IHS | | 0,80 | 503,80 | 5,68 | 9882,20 | 9,36 |
| DHS | | 0,62 | 497,70 | 3,90 | 8172,90 | 10,15 |
| DMS | | 0,62 | 490,60 | 2,56 | 4307,80 | 6,31 |
| DP | | 0,30 | 426,80 | 1,89 | 1639,30 | 2,57 |
| LF | | 0,34 | 432,80 | 1,24 | 2195,70 | 4,10 |
| | Primavera | 0,64 | 391,00 | 1,69 | 3169,90 | 6,00 |
| | Verão | 0,72 | 455,50 | 4,63 | 5507,20 | 6,72 |
| | Outono | 0,52 | 504,70 | 3,90 | 6292,30 | 6,87 |
| | Inverno | 0,27 | 530,00 | 1,99 | 5988,90 | 6,40 |
| EPM | | 0,54 | 469,90 | 3,05 | 5105,00 | 6,33 |
| Média | | 0,02 | 5,70 | 0,25 | 320,67 | 0,32 |
| Probabilidades Estatísticas | | | | | | |
| Tratamento | | <,0001 | <,0001 | <,0001 | <,0001 | 0,004 |
| Estação | | <,0001 | <,0001 | <,0001 | <,0001 | 0,321 |
| Tratamento*Estação | | <,0001 | <,0001 | <,0001 | <,0001 | <,0001 |

DP: Sistema de Pastagem Extensiva em Solo Degradado - *Urochloa, brizantha* cv, Marandu e *Urochloa decumbens* cv, Basilisk; LF: Sistema de Pastagem Intensiva Sem Irrigação em Rotação Consorciada com floresta nativa do cerrado brasileiro (sistema silvipastoril) com Moderada Taxa de Lotação - *Urochloa decumbens* cv, Basilisk; DMS: Sistema de Pastagem Intensiva sem Irrigação em Rotação com Moderada Taxa de Lotação - *Urochloa brizantha* cv, Marandu e *Urochloa decumbens* cv, Basilisk; DHS: Sistema de Pastagem Intensiva sem Irrigação em Rotação com Alta Taxa de Lotação - *Megathyrsus maximus* cv, Tanzânia; IHS: Sistema de Pastagem com Irrigação em Rotação com Alta Taxa de Lotação - *Megathyrsus, maximus* cv, Tanzânia com sobressemeadura de *Avena byzantina* e *Lolium, Multiflorum* para consumo durante o inverno, Primavera: 23/09 a 21/12; Verão 2020: 22/12 a 19/03; Outono 2020: 20/03 a 20/06; Inverno 2020: 20/06 a 22/09. GMD: ganho de peso médio diário dos animais; PV_F: peso vivo final dos animais. Fonte: Adaptado de Pasquini Neto (2022).