

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MATO GROSSO DO SUL
UNIDADE UNIVERSITÁRIA DE AQUIDAUANA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

SELETIVIDADE ALIMENTAR EM BOVINOS
CONFINADOS: INTERAÇÕES ENTRE GRUPOS
DIETÉTICOS, GRANULOMETRIA E AMBIÊNCIA

Acadêmico: Conrado Pedrosa Fragoso Carvalho

Aquidauana/ MS
Setembro / 2025

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MATO GROSSO DO SUL
UNIDADE UNIVERSITÁRIA DE AQUIDAUANA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

SELETIVIDADE ALIMENTAR EM BOVINOS
CONFINADOS: INTERAÇÕES ENTRE GRUPOS
DIETÉTICOS, GRANULOMETRIA E AMBIÊNCIA

Acadêmico: Conrado Pedrosa Fragoso Carvalho

Orientador: Prof. Dr. Marcus Vinicius Morais de Oliveira

Coorientador: Prof. Dr. Dalton Mendes de Oliveira

“Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-graduação em
Zootecnia, área de concentração em
Produção Animal no Cerrado-
Pantanal, da Universidade Estadual
de Mato Grosso do Sul, como parte
das exigências para a obtenção do
título de Mestre em Zootecnia”

Aquidauana/ MS

Setembro / 2025

C322s Carvalho, Conrado Pedrosa Fragoso

Seletividade alimentar em bovinos confinados: interações entre grupos dietéticos, granulometria e ambiência / Conrado Pedrosa Fragoso Carvalho. – Aquidauana, MS: UEMS, 2025.

126 p.

Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Zootecnia – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, 2025.

Orientador: Prof. Dr. Marcus Vinicius Morais de Oliveira.

1. Confinamento. 2. Índice de seleção. 3. Eficiência nutricional. 4. Ambiência. 5. Zootecnia de precisão. I. Título. II. Oliveira, Marcus Vinicius Morais de.

CDD 23. ed. - 636.213

Ficha Catalográfica elaborada pela bibliotecária da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS)

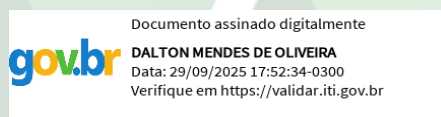
Susy dos Santos Pereira CRB1°1783

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MATO GROSSO DO SUL
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
UNIDADE UNIVERSITÁRIA DE AQUIDAUANA
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM PRODUÇÃO ANIMAL**

CONRADO PEDROSA FRAGOSO CARVALHO

Dissertação submetida ao Programa de Pós Graduação em Zootecnia, área de concentração em Produção Animal, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Zootecnia.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 16/09/2025.



Dr. Dalton Mendes de Oliveira (Coorientador)

Dr. Antonio Ferriani Branco, NEONUTRA
(participação via videoconferência)

Dra. Daniele Portela de Oliveira Torgan, Afaceri Data
(participação via videoconferência)

Dr. Juan Vicente Delgado Bermejo, UCO
(participação via videoconferência)

Sementes

Quando os seres humanos nascem,
Não se sabe de que feitos serão capazes
No crescimento formando suas bases
E gerando inúmeras sinapses...

E nessa jornada pessoal
Emana o pensamento intelectual
De sua pura essência,
O buscar pela ciência...

O Saber profundo
Longe está de alcançar
Na evolução desse mundo
Permanece a semente do buscar...

E do esforço bem sucedido
Acontece o nascer dos grãos,
Saciando a ânsia do infinito
Semeada por divinas mãos!

Poema de autoria de minha mãe,
Cynthia Pedrosa Fragoso Carvalho,
dedicado, com afeto e inspiração, à
presente Dissertação.

Dedico este trabalho aos professores que, ao longo da minha formação, exerceram papel singular no meu desenvolvimento intelectual, ético e profissional.

Em especial, aos docentes do Colégio Maria da Conceição Baptista de Oliveira, da Universidade Federal do Espírito Santo e da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, instituições que marcaram profundamente minha trajetória de vida.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida, pela graça concedida diariamente e pela luz que guiou cada etapa desta trajetória, especialmente nos momentos de desafio e incerteza.

Aos meus pais, Francisco Martho e Cyntia, e aos meus irmãos, Padre João Bosco, Bertila, Afonso, José Roberto e Brígida, por todo amor, ensinamentos e apoio incondicional. Suas orações, confiança e incentivo foram fundamentais para que eu pudesse seguir firme neste percurso acadêmico e pessoal.

A Marcos Brandão, cuja parceria, dedicação e presença constante foram determinantes nesta caminhada. Em meio a tantas mudanças e desafios, seu apoio, sua escuta atenta e seu incentivo diário tornaram possível a superação dos obstáculos e a realização deste objetivo.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Marcus Vinicius Moraes de Oliveira, pela orientação segura e generosa. Sua orientação, paciência e dedicação foram essenciais para a construção sólida deste trabalho e para que eu pudesse superar os desafios acadêmicos com segurança e confiança.

Ao meu coorientador, Prof. Dr. Dalton Mendes de Oliveira, pela colaboração valiosa, pelas sugestões pertinentes e pelo suporte técnico e acadêmico, que contribuíram de modo relevante para este estudo.

À Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS) e ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, pelo acolhimento e pela infraestrutura oferecida para a realização desta pesquisa.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro por meio da concessão de bolsa, fundamental para a viabilização deste projeto.

Ao Grupo de Estudos em Bovinocultura Leiteira (GEBOL/UEMS), pelo ambiente de aprendizado, troca de experiências e crescimento conjunto, do qual tive a honra de fazer parte.

À empresa Agro Pastoril Paschoal Campanelli S/A, em especial ao Sr. Víctor Campanelli, pela generosidade em disponibilizar os dados do Centro de Inovação e Pesquisa Campanelli, permitindo a realização deste estudo.

À Dra. Daniele Portela de Oliveira Torgan, Zootecnista e Analista de Dados, cujo auxílio técnico e científico foi imprescindível. Seu suporte técnico e científico exerceu papel fundamental na superação dos desafios deste estudo, enriquecendo significativamente as etapas de análise e interpretação dos dados.

À Dra. Jéssica Oliveira Gusmão e ao Dr. Rodrigo Dias Lauritano Pacheco, pelo apoio e pelas valiosas contribuições nas discussões iniciais que auxiliaram na definição das estratégias de análise.

Aos amigos que a vida me presenteou em Aquidauana - Marina de Jesus, Padre Paulo e Odorico - pela amizade, apoio e pelos momentos de acolhimento que tornaram mais leve a caminhada longe de casa.

E, por fim, a todas as pessoas que, de alguma forma, contribuíram para que esta trajetória fosse possível e significativa, expresso minha sincera e profunda gratidão.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	xii
LISTA DE FIGURAS	xiii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	xiv
RESUMO	xv
ABSTRACT	xvi
CAPÍTULO 1- CONSIDERAÇÕES GERAIS	17
1. INTRODUÇÃO	17
2. REVISÃO DE LITERATURA	19
2.1. Intensificação produtiva na pecuária de corte brasileira e o papel do confinamento	19
2.2. Interferências ambientais sobre o comportamento ingestivo de bovinos confinados	21
2.3. Importância da fibra para o equilíbrio digestivo dos ruminantes	24
2.4. Contribuições da Fibra fisicamente efetiva para a saúde ruminal....	26
2.5. Seletividade alimentar e suas implicações sobre o desenvolvimento e a saúde ruminal	29
2.6. Avaliação da granulometria e seletividade alimentar através do Separador de Partículas de Penn State	32
2.7. Meta-análise aplicada como ferramenta de integração de dados experimentais	34
2.8. Zootecnia de precisão e análise de dados aplicadas à gestão dinâmica do confinamento comercial.....	36
2.9. Delineamento teórico e inferências científicas	38
3. OBJETIVOS	39
3.1. Objetivo Geral.....	39
3.2. Objetivos Específicos	39

4. REFERÊNCIAS.....	x 40
CAPÍTULO 2- ARTIGO CIENTÍFICO: A SELETIVIDADE ALIMENTAR E GRANULOMETRIA, EM DIFERENTES GRUPOS NUTRICIONAIS, E SEUS IMPACTOS NA EFICIÊNCIA NUTRICIONAL DE BOVINOS CONFINADOS ...	
RESUMO	55
1. INTRODUÇÃO	56
2. MATERIAL E MÉTODOS	57
3. RESULTADOS	67
4. DISCUSSÃO	73
5. CONCLUSÃO.....	77
6. REFERÊNCIAS.....	78
CAPÍTULO 3- ARTIGO CIENTÍFICO: A INFLUÊNCIA DA SOMBRA E DA ESTRUTURA FÍSICA DA DIETA SOBRE A SELETIVIDADE ALIMENTAR EM BOVINOS NELORE CONFINADOS	
RESUMO	84
1. INTRODUÇÃO	85
2. MATERIAL E MÉTODOS	86
3. RESULTADOS	95
4. DISCUSSÃO	103
5. CONCLUSÃO.....	107
6. REFERÊNCIAS.....	108
CAPÍTULO 4- NOTA TÉCNICA: SELETIVIDADE ALIMENTAR, CONSUMO E TECNOLOGIA, INTEGRANDO CIÊNCIA E MANEJO NO CONFINAMENTO ...	
CAPÍTULO 5- CONSIDERAÇÕES FINAIS	117
APÊNDICE I: Script-modelo R - Agrupamento hierárquico das dietas.....	120
APÊNDICE II: Script-modelo R - Análises estatísticas do artigo “Seletividade alimentar e granulometria em diferentes perfis de dieta: Impactos na eficiência nutricional de bovinos confinados”	122

APÊNDICE III: Script-modelo R - Análises estatísticas do artigo “Influência do sol e sombra no comportamento alimentar de bovinos confinados em diferentes perfis dietéticos”	125
---	-----

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2

Tabela 1. Proporção dos ingredientes, expressos na matéria seca, das dietas experimentais, em função das fases do confinamento e experimentos (Exp).	60
Tabela 2. Composição bromatológica e proporção de forragem, em função dos distintos grupos de dietas avaliadas.	64
Tabela 3. Percentual de ração retida em cada peneira do Separador de Partículas de Penn State (PSPS), nas frações ofertada e sobra, das dietas de Adaptação, Crescimento e Terminação.....	69
Tabela 4. Índice de seleção (IS), de acordo com as respectivas peneiras do Separador de Partículas de Penn State (PSPS); percentagem de fibra em detergente neutro fisicamente efetiva (FDNfe) na ração ofertada e sobra; bem como os consumos de energia líquida de ganho (ELg) e de matéria seca (CMS), nas dietas de Adaptação, Crescimento e Terminação.	72

CAPÍTULO 3

Tabela 1. Proporção dos ingredientes, expressos na matéria seca, das dietas experimentais, em função das fases (Adaptação, Crescimento e Terminação) do confinamento e experimentos (Exp).....	90
Tabela 2. Composição bromatológica e proporção de forragem, em função dos distintos grupos de dietas avaliadas.	93
Tabela 3. Percentual de partículas retidas em cada peneira do Separador de Partículas de Penn State (PSPS), avaliadas na fração ofertada e nas sobras, sob condições de sol e sombra, nas fases de adaptação, crescimento e terminação.	98
Tabela 4. Índice de seleção (IS), conforme as peneiras do Separador de Partículas de Penn State (PSPS); porcentagem de fibra em detergente neutro fisicamente efetiva (FDNfe) na ração ofertada e nas sobras; e consumos de energia líquida de ganho (ELg) e de matéria seca (CMS), avaliados sob condições de sol e sombra, nas dietas correspondentes às fases de adaptação, crescimento e terminação.	102

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 2

Figura 1. Dendrograma de agrupamento hierárquico representando a similaridade entre as dietas das fases de adaptação, crescimento e terminação, avaliadas nos diferentes experimentos conduzidos. Na identificação das amostras, as letras A, C e T indicam, respectivamente, as Fases de Adaptação, Crescimento e Terminação, enquanto os números 1, 2, 3 e 4 correspondem aos experimentos em que as dietas foram avaliadas. 63

CAPÍTULO 3

Figura 1. Dendrograma de agrupamento hierárquico representando a similaridade entre as dietas das fases de adaptação, crescimento e terminação, avaliadas nos diferentes experimentos conduzidos. Na identificação das amostras, as letras A, C e T indicam, respectivamente, as Fases de Adaptação, Crescimento e Terminação, enquanto os números 1, 2, 3 correspondem aos experimentos em que as dietas foram avaliadas. 92

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A-AF	–	Adaptação - Alta Forragem
A-BF	–	Adaptação - Baixa Forragem
AGCC	–	Ácidos Graxos de Cadeia Curta (AGCC)
C-AF	–	Crescimento - Alta Forragem
C-BF	–	Crescimento - Baixa Forragem
CMS	–	Consumo de Matéria Seca
CNF	–	Carboidratos Não Fibrosos
EE	–	Extrato Etéreo
Eg	–	Energia para Ganho
ELg	–	Energia Líquida de Ganho
ELm	–	Energia Líquida de Manutenção
Em	–	Energia para Manutenção
FDN	–	Fibra em Detergente Neutro
FDNfe	–	Fibra em Detergente Neutro Fisicamente Efetiva
iFDN	–	Fibra em Detergente Neutro indigestível (Indigestible Neutral Detergent Fiber)
uFDN	–	Fibra em Detergente Neutro não digestível (<i>Undigested Neutral Detergent Fiber</i>)
GPD	–	Ganho de Peso Diário
IS	–	Índice de Seleção
MM	–	Matéria Mineral
MS	–	Matéria Seca
PB	–	Proteína Bruta
PSPS	–	Separador de Partículas Penn State
RTM	–	Ração Total Misturada
SARA	–	Acidose Ruminal Subaguda (<i>Subacute Ruminal Acidosis</i>)
T-AF	–	Terminação - Alta Forragem
T-BF	–	Terminação - Baixa Forragem

RESUMO

Na atividade pecuária de corte intensiva, a otimização do desempenho é possível com a integração de dietas adequadamente formuladas, com o monitoramento da ambiência térmica das instalações e com o acompanhamento criterioso e constante dos dados zootécnicos dos animais. Nesse sentido, este estudo buscou avaliar a seletividade alimentar e sua interação com o ambiente térmico em bovinos da raça Nelore, mantidos em regime de confinamento, por meio de meta-análise interna de sete experimentos (2020–2023). As dietas foram caracterizadas pelo Separador de Partículas de Penn State, com estimativas de fibra em detergente neutro fisicamente efetiva (FDNfe), consumo de matéria seca (CMS), ingestão de energia líquida de ganho (ELg) e índice de seleção (IS). O agrupamento hierárquico definiu os grupos dietéticos A-AF (Adaptação - Alta Forragem), A-BF (Adaptação - Baixa Forragem), C-AF (Crescimento - Alta Forragem), C-BF (Crescimento - Baixa Forragem), T-AF (Terminação - Alta Forragem) e T-BF (Terminação - Baixa Forragem), os quais foram analisados por modelos lineares generalizados mistos (Gamma-log). Infere-se que estruturalmente esta Dissertação foi segmentada em partes, onde o Capítulo 1 apresenta uma revisão bibliográfica, integrando nutrição, ambiência e zootecnia de precisão. O Capítulo 2, escrito como artigo científico, aborda a relação entre a seletividade alimentar, a estrutura física das dietas dos diferentes grupos dietéticos e os respectivos impactos sobre a eficiência nutricional dos animais. O Capítulo 3, também escrito como artigo científico, aborda a influência do sol e da sombra sobre o comportamento alimentar nos animais dos diferentes grupos dietéticos. O Capítulo 4 apresenta uma nota técnica, que transcreveu os resultados dos artigos científicos numa linguagem acessível ao público não acadêmico, de forma a difundir as práticas nutricionais e de manejo visando o conforto térmico de bovinos mantidos em confinamento. No Capítulo 5 são efetuadas as considerações finais. E por fim nos apêndices I, II e III, são descritos um detalhamento das análises estatísticas.

Palavras-chave: confinamento, índice de seleção, eficiência nutricional, ambiência, zootecnia de precisão.

ABSTRACT

In intensive beef cattle farming, performance optimization is possible through properly formulated diets, monitoring of the thermal environment of facilities, and constant monitoring of animals' zootechnical data. This study evaluated feed selectivity and its interaction with the thermal environment in Nelore breed cattle in feedlots via an internal meta-analysis of seven experiments conducted from 2020 to 2023. The Penn State Particle Separator was used to characterize the diets, providing estimates of physically effective neutral detergent fiber (FDNfe), dry matter intake (DMI), net energy intake for gain (ELg), and selection index (SI). Hierarchical clustering defined the dietary groups: A-HF (Adaptation - High Forage), A-LF (Adaptation - Low Forage), G-HF (Growth - High Forage), G-LF (Growth - Low Forage), F-HF (Finishing - High Forage) and F-LF (Finishing - Low Forage). These groups were analyzed using generalized linear mixed models (Gamma-log). This Dissertation is divided into parts. Chapter 1 presents a literature review integrating nutrition, environment, and precision animal husbandry. Chapter 2 is written as a scientific article that addresses the relationship between food selectivity and the physical structure of diets of different groups of animals, as well as the impact of these diets on the animals' nutritional efficiency. Chapter 3 is also written as a scientific article that addresses how sun and shade influence the feeding behavior of animals in different dietary groups. Chapter 4 is a technical note that translates the scientific articles' results into language accessible to the non-academic public, to disseminate nutritional and management practices aimed at the thermal comfort of feedlot cattle. Chapter 5 contains the final considerations. Appendices I, II, and III provide detailed descriptions of the statistical analyses.

Keywords: feedlot, sorting index, nutritional efficiency, thermal environment, precision livestock farming.

CAPÍTULO 1- CONSIDERAÇÕES GERAIS

1. INTRODUÇÃO

A pecuária de corte brasileira consolida-se como um dos principais pilares do agronegócio nacional, posicionando o país como líder mundial na exportação de carne bovina (ABIEC, 2024). Esse protagonismo decorre não apenas da dimensão do rebanho, mas principalmente da intensificação dos sistemas de produção, nos quais o confinamento se destaca como estratégia essencial para maximizar o desempenho zootécnico, reduzir a idade de abate e elevar os padrões qualitativos da carne ofertada ao mercado (BATISTELLI et al., 2022; FORBES, 2024). Contudo, a consolidação desses avanços exige formulações dietéticas que transcendam o simples atendimento das exigências nutricionais, contemplando também a manutenção da saúde digestiva e a estabilidade do ambiente fermentativo.

Nesse contexto, a fibra dietética, especialmente sua fração fisicamente efetiva (FDNfe), desempenha um papel central ao estimular a mastigação, favorecer a produção de saliva tamponante e contribuir para a regulação do pH ruminal (MERTENS, 1997; GRANT, 2023). Assim, a correta distribuição granulométrica da dieta, avaliada por ferramentas como o Separador de Partículas de Penn State (PSPS), é determinante para a adequada formação da camada fibrosa flutuante no rúmen (*mat ruminal*) e para uma fermentação eficiente e equilibrada (LAMMERS et al., 1996; BEAUCHEMIN et al., 2006; KONONOFF et al., 2003).

Entretanto, a busca por elevada eficiência produtiva impõe desafios adicionais, dentre os quais se destaca o inerente comportamento de seletividade alimentar dos bovinos. Essa prática caracteriza-se pela preferência por partículas mais fermentescíveis, como grãos, em detrimento das frações fibrosas, o que compromete a ingestão efetiva de fibra, desestabiliza o ambiente ruminal e eleva o risco de distúrbios metabólicos, como a acidose subclínica (SARA - Subacute Ruminal Acidosis) (MILLER-CUSHON; DEVRIES, 2017; HOSSEINKHANI et al., 2008; COON et al., 2019; KOVÁCS et al., 2020). Além disso, essa seletividade pode afetar a eficiência alimentar, o desempenho

zootécnico e a saúde geral dos animais mantidos em regime de confinamento (MILLEN et al., 2016).

Outro fator com impacto direto sobre o comportamento ingestivo é a temperatura do ambiente. Em regiões tropicais e subtropicais, a elevada carga térmica frequentemente induz ao estresse dos animais, reduzindo o consumo de matéria seca (CMS) e prejudicando o desempenho produtivo (BROWN-BRANDL, 2018). Nesses cenários, ocorrem alterações nos padrões seletivos, com maior ingestão de partículas pequenas e de digestão mais rápida, que podem reduzir ainda mais a quantidade de fibra efetiva no rúmen e potencializar o risco de acidose (DEBORD, 2023).

Ressalta-se que medidas de mitigação, como o sombreamento, tanto natural como artificial, apresentam efeitos positivos sobre o equilíbrio térmico, o comportamento ingestivo e a eficiência alimentar dos bovinos em confinamento (MILLER et al., 2024). Estratégias adicionais, como ventiladores e sistemas de aspersão, também se destacam por reduzir a carga térmica e favorecer o bem-estar dos animais (DEAN et al., 2023). Tais informações, corroboram a importância de se integrar a adequada formulação nutricional com ajustes na ambiência, visando sistemas produtivos mais sustentáveis e adaptados às condições climáticas desafiadoras das regiões tropicais.

Todavia, ainda são muito escassos os estudos que utilizam abordagens estatísticas integrativas, como o agrupamento hierárquico aliado à meta-análise interna de dados individuais, que possibilitem concatenar dados de experimentos independentes, porém conduzidos sob protocolos homogêneos, de modo a gerar conclusões consistentes e aplicáveis à prática produtiva.

Diante desse contexto, o presente estudo tem por objetivo integrar dados de diferentes investigações científicas para avaliar a influência da temperatura ambiental sobre o comportamento seletivo de bovinos de corte em confinamento, considerando dietas com diferentes características granulométricas. Almeja-se, assim, fornecer subsídios para a adoção de práticas nutricionais e de manejo que promovam maior eficiência alimentar, bem-estar animal e sustentabilidade em sistemas intensivos de criação de bovinos de corte em regiões tropicais.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Intensificação Produtiva na Pecuária de Corte Brasileira e o Papel do Confinamento

No Brasil, a produção de bovinos de corte configura-se como um dos alicerces do agronegócio nacional, destacando-se no cenário internacional não apenas pelo expressivo volume de produção, mas também pela sua elevada capacidade de competir no comércio global (MALAFAIA et al., 2019).

Nesse contexto, ressalta-se que a pecuária brasileira ocupa a posição de maior exportadora mundial de carne bovina, com embarques anuais que totalizaram 2,29 milhões de toneladas em equivalente de carcaça (ABIEC, 2024); consolidando assim, sua trajetória de crescimento substancial nas últimas décadas. Paralelamente, o rebanho bovino nacional atingiu a marca de 224,6 milhões de cabeças, assegurando ao país o status de detentor do maior rebanho comercial do mundo (IBGE, 2025).

Entretanto, tal protagonismo impõe desafios cada vez mais complexos à cadeia produtiva, requerendo a adoção de planejamentos integrados que harmonizem eficiência zootécnica, sustentabilidade ambiental e a rentabilidade econômica. Nesse contexto, o sistema de confinamento se destaca, por ser uma técnica amplamente empregada, que permite otimizar a terminação dos animais em ambientes controlados, e, assim, possibilitar um controle rigoroso dos fatores nutricionais, sanitários e ambientais. De acordo com Batistelli et al. (2022), tal abordagem quando implementada de forma planejada, viabiliza a redução da idade de abate, o incremento do giro de capital e a contribuição efetiva para a sustentabilidade dos sistemas produtivos.

Nesse sentido, o confinamento dos bovinos promove uma aceleração dos ciclos produtivos, resultando em incrementos significativos no ganho de peso médio diário, no aperfeiçoamento do acabamento da carcaça e na melhoria da eficiência alimentar (ALMEIDA et al., 2023). Ademais, essa modalidade produtiva colabora para a descompressão das pastagens em períodos críticos, como os de estiagem (OLIVEIRA et al., 2021). Segundo Forbes, (2024) cerca de oito milhões de bovinos são confinados anualmente no Brasil, e, embora o volume represente uma fração do total de animais abatidos, existe uma

tendência de contínua expansão e consolidação do sistema de confinamento, como uma estratégia indispensável para a intensificação da cadeia produtiva da carne bovina.

De acordo com Linder et al. (2024), o manejo nutricional desempenha um papel fundamental no sistema de alimentação intensivo, necessitando ser continuamente ajustado, ao longo das diferentes fases do confinamento, e em função das respectivas demandas fisiológicas e metabólicas dos animais.

Inicialmente, a fase de adaptação destina-se à adaptação gradativa dos bovinos às dietas altamente energéticas, favorecendo a adequação da microbiota ruminal e prevenindo a ocorrência de distúrbios metabólicos, como a acidose ruminal. Assim, protocolos bem delineados, que preveem o aumento progressivo da proporção de concentrados na dieta, são imprescindíveis para assegurar a estabilidade metabólica e o desempenho zootécnico adequado (SQUIZZATTI et al., 2023).

Após a adaptação, inicia-se a fase de crescimento, caracterizada por ser um período de grande desenvolvimento da estrutura corpórea e da máxima deposição de tecido muscular. Assim, por sustentar elevadas taxas de ganho de peso diário, necessita de dietas balanceadas e com alta concentração de energia e proteína (SAMPALAO et al., 2017).

A última etapa, chamada fase de terminação, visa o aperfeiçoamento das características da carcaça, com ênfase na deposição de gordura subcutânea e intramuscular. Tais depósitos lipídicos desempenham papel determinante na qualidade organoléptica da carne, influenciando diretamente atributos como a suculência e o sabor, os quais se mostram essenciais para a aceitabilidade do produto pelo mercado consumidor (FERREIRA et al., 2023).

Além dos aspectos sensoriais, a deposição de gordura subcutânea, durante a fase de terminação, também exerce papel estratégico no resfriamento pós-abate, atuando como isolante térmico natural. Essa cobertura lipídica retarda a perda de calor das carcaças, permitindo uma transição mais gradual ao *rigor mortis* e contribuindo para a prevenção do *cold shortening*, fenômeno decorrente do resfriamento acelerado antes da estabilização do pH muscular, que resulta em contrações musculares exacerbadas e carne mais rígida (NUNES et al., 2024). Corroborando essa relação, Gundersen et al. (2023) demonstraram

que carcaças com maior espessura de gordura apresentaram menor taxa de resfriamento nas primeiras horas pós-abate, maior estabilidade de pH e menor exsudação, fatores que favorecem a maciez e a qualidade final da carne bovina.

Paralelamente, observa-se a ascensão de tecnologias emergentes, como os sistemas de nutrição de precisão e o monitoramento ambiental automatizado, que vêm impulsionando avanços na eficiência produtiva, no bem-estar animal e na sustentabilidade dos sistemas de confinamento. Essas inovações, mediante a incorporação de sensores, inteligência artificial e automação, permitem a otimização do manejo nutricional, a criação de ambientes propícios à saúde dos animais e a adoção de práticas produtivas mais responsáveis, em consonância com as exigências dos mercados nacionais e internacionais (DAYOUB et al., 2024).

Nesse contexto, o sistema de confinamento de bovinos de corte no Brasil afirma-se como uma estratégia central na intensificação da atividade pecuária, alicerçando-se como um instrumento indispensável para o aprimoramento dos indicadores zootécnicos, econômicos e ambientais, fatores estes considerados imprescindíveis para a manutenção e ampliação da competitividade brasileira no cenário global da carne bovina.

2.2. Interferências Ambientais sobre o Comportamento Ingestivo de Bovinos Confinados

A ambiência no confinamento, pode ser entendida como o conjunto de condições climáticas e nutricionais, que exerce influência determinante sobre o desempenho produtivo e o comportamento ingestivo dos animais (ISLAM et al., 2021). Segundo Debord (2023), em regiões tropicais, caracterizadas por altas temperaturas e intensa radiação solar, a exposição prolongada a condições adversas compromete o conforto térmico dos bovinos, desencadeando respostas fisiológicas e comportamentais que impactam negativamente a eficiência alimentar e o bem-estar.

Entre os fatores ambientais adversos, o estresse térmico por calor destaca-se como uma das principais limitações na maximização do desempenho zootécnico dos animais, mantidos em sistemas intensivos de terminação.

Nessas condições, os bovinos reduzem voluntariamente o consumo de matéria seca (CMS), como uma forma de atenuar a produção de calor endógeno, sobretudo aquele resultante da fermentação ruminal (BROWN-BRANDL, 2018). Essa resposta fisiológica adaptativa, embora necessária para manter a homeotermia, acarreta consequências produtivas indesejáveis, como a queda no ganho de peso e na eficiência alimentar, comprometendo o potencial de crescimento e o acabamento da carcaça (SLAYI; JAJA, 2025).

Dentre as estratégias de mitigação do estresse térmico por calor, a disponibilização de sombra tem se destacado como uma das mais eficazes, sendo este efeito particularmente expressivo nos cruzamentos entre zebuínos e taurinos. Segundo DeBord (2023), novilhas mestiças Nelore-Angus, alimentadas com diferentes tipos de dietas e mantidas confinadas em área sombreada, apresentam uma redução significativa nos escores de ofegância, menor consumo de água e incremento no ganho médio diário de peso; além de melhora na estabilidade no pH ruminal, indicando benefícios diretos da sombra sobre a homeostase digestiva. Corroborando essa perspectiva, Oliveira et al. (2025) ressaltam que o sombreamento, associado a outras intervenções ambientais, como o uso de aspersores e ventiladores, contribui significativamente para mitigar os efeitos do impacto do calor sobre o comportamento ingestivo e o bem-estar de vacas leiteiras em sistemas intensivo. Miller et al. (2024), também ressaltam que os benefícios do sombreamento também se estendem as regiões clima temperado, destacando melhora no desempenho zootécnico de bovinos da raça Angus submetidos a esse manejo.

Embora o sombreamento contribua para mitigar os efeitos do calor em raças taurinas e seus cruzamentos, o grau de resposta ao estresse térmico nos animais zebuínos necessita de mais investigações. De modo geral, as raças zebuínas (*Bos taurus indicus*) destacam-se pela notável resistência ao calor, decorrente de características corpóreas evolutivamente moldadas para otimizar a dissipação térmica (GAUGHAN et al., 2008). Dentre essas adaptações, ressaltam-se o menor número de glândulas sudoríparas por área, porém com maior diâmetro e profundidade, favorecendo uma taxa mais eficiente de sudorese; além da pelagem mais curta, pigmentada e de baixa densidade, e de uma maior proporção de superfície corporal em relação ao volume do animal

(HERNANDEZ et al., 2024). Esses atributos anatômicos e fisiológicos conferem aos zebuínos uma maior eficiência na termorregulação por condução (transferência de calor pelo contato do corpo com uma superfície mais fria) e convecção (perda de calor corporal para o ar em movimento), sobretudo em ambientes tropicais, marcados por altas temperaturas e intensa radiação solar (ISLAM et al., 2023). Complementarmente, estudos termográficos demonstram que esses animais mantêm temperaturas periféricas mais homogêneas mesmo sob condições ambientais extremas, evidenciando sua elevada tolerância ao calor (CARDOSO et al., 2015).

Além da modulação ambiental e da genética, o manejo alimentar também desempenha um papel crucial na resposta adaptativa ao calor (SHAH et al., 2025). Dietas com elevada percentagem de grãos, e, conseqüentemente com baixa ingestão e alta densidade energética, favorecem a eficiência alimentar, reduzem a produção de calor fermentativo e diminuem a exigência hídrica; com conseqüente melhora no conforto térmico e no desempenho dos animais submetidos a estresse calórico (DEBORD, 2023). Em contrapartida, a oferta de dietas com maior proporção de volumosos, promovem um aumento na produção de calor endógeno, em função do processo de digestão e metabolismo dos componentes fibrosos; intensificando assim, as respostas fisiológicas ao estresse térmico, como o aumento da frequência respiratória e redução no consumo da dieta (SUHENDRO et al., 2025).

No âmbito comportamental, adaptações aos desafios térmicos também se fazem presentes. Assim, sob condições de elevadas temperaturas, os bovinos tendem a reorganizar seus padrões de atividade diária, concentrando a alimentação e a ruminação nos períodos mais amenos do dia, em especial no início da manhã e o final da tarde; enquanto ampliam o tempo de ócio durante as horas mais críticas (BROWN-BRANDL, 2018; ANTANAITIS et al., 2024). Essas estratégias comportamentais visam a minimização da produção metabólica de calor e a preservação da homeostase térmica, assegurando a manutenção do bem-estar e da eficiência produtiva.

Diante desse panorama, Dean et al. (2023) reforçam a necessidade da adoção de estratégias integradas para a mitigação do estresse térmico, como a implantação de estruturas sombreadoras, o ajuste nutricional condizente com as

condições climáticas e a oferta adequada de água; de maneira a manter a eficiência alimentar, e preservar a saúde ruminal e o bem-estar dos bovinos confinados. Tais intervenções assumem relevância crescente frente ao aumento previsto das ondas de calor associadas às mudanças climáticas globais.

2.3. Importância da Fibra para o Equilíbrio Digestivo dos Ruminantes

Os compostos fibrosos exercem um papel fundamental e insubstituível na manutenção da homeostase digestiva dos ruminantes, desempenhando funções que ultrapassam seu valor nutricional intrínseco e impactam de forma direta na dinâmica mecânica e fisiológica do rúmen. De acordo com Kung (2014), o rúmen é um dos principais compartimentos do estômago dos ruminantes, e por abrigar uma comunidade microbiana diversa e complexa, composta por bactérias, protozoários e fungos, é responsável pelo processo fermentativo dos substratos fibrosos da dieta. Corroborando, Krehbiel (2014) ressalta a importância da fibra na regulação da motilidade ruminal, promovendo uma mistura homogênea do conteúdo existente no rúmen-retículo, e, a consequente otimização da degradação dos carboidratos estruturais, de maneira a maximizar a produção de ácidos graxos de cadeia curta (AGCC) da dieta.

Adicionalmente, a mastigação e a ruminação, estimuladas pela presença de partículas fibrosas de dimensões adequadas, intensificam a produção de saliva, rica em bicarbonato de sódio (NaHCO_3), que exerce um papel crucial no tamponamento do ambiente ruminal. Assim, a manutenção do equilíbrio ácido-base, com valores de pH (potencial hidrogeniônico) ideais entre 6,0 e 7,0, é determinante para garantir a viabilidade da microbiota celulolítica, cuja atividade é sensível a oscilações desse parâmetro (MERTENS, 1997). Nesse sentido, a presença de carboidratos fibrosos na dieta estimula o comportamento de mastigação e ruminação, favorecendo a produção de saliva tamponante e contribuindo para manter o pH do rúmen-retículo na faixa ideal (GRANT, 2023). Essa estabilidade é essencial para a manutenção de um ambiente ruminal funcional e da microbiota celulolítica, cujos processos fermentativos dependem da constância do pH. A fibra dietética influencia diretamente esses mecanismos fisiológicos, promovendo a homeostase digestiva (EERING et al., 2023). Quando ocorrem flutuações acentuadas e prolongadas nesse pH, especialmente nas

quedas abaixo da faixa ideal, há comprometimento da atividade microbiana, desestabilização da fermentação das frações fibrosas e surgimento de distúrbios metabólicos, como a Acidose Ruminal Subaguda (SARA), afetando negativamente a eficiência alimentar e o desempenho produtivo dos animais (ZEBELI et al., 2012). Assim, a fibra desempenha um papel multifacetado, integrando aspectos mecânicos, fermentativos e regulatórios, assegurando a eficiência digestiva global e a estabilidade funcional do rúmen-retículo.

Em dietas caracterizadas pela predominância de forragens, a ingestão de partículas longas favorece naturalmente a formação do *Mat Ruminal*, uma camada fibrosa flutuante, composta majoritariamente por partículas insolúveis, que retarda o trânsito das partículas alimentares e sustenta a eficiência fermentativa (BEAUCHEMIN et al., 2006; ARCANJO et al., 2024). O *Mat Ruminal* atua como um filtro dinâmico, promovendo a retenção seletiva de partículas e otimizando a ação dos microrganismos celulolíticos, garantindo a fermentação eficiente das frações fibrosas e a produção contínua de AGCC, indispensáveis ao suprimento energético dos ruminantes (ZEBELI et al., 2012).

Corroborando, Niwa et al. (2023) relatam que dietas compostas por forragens de qualidade superior, promovem uma maior estabilidade do pH ruminal e prolongam o tempo de ruminação, fatores considerados essenciais para manter a homeostase digestiva e o desempenho produtivo do animal. De maneira complementar, Nadeem; Sufyan, (2005) e Lockard et al. (2021) citam que animais tratados com alimentos ricos em fibras de elevada digestibilidade, apresentam uma adequada fermentação microbiana e uma produção constante de AGCC, com efeitos diretos sobre a disponibilidade de energia.

Portanto, nos sistemas de confinamento, onde prevalecem dietas altamente energéticas à base de grãos, a função da fibra torna-se ainda mais relevante; pois a fermentação acelerada dos amidos eleva a produção de AGCC e reduz o pH ruminal, favorecendo as disfunções epiteliais e o desenvolvimento da SARA. Segundo Neubauer et al. (2020), dietas ricas em amido, mesmo sem manifestações clínicas evidentes de acidose, alteraram significativamente a permeabilidade da mucosa ruminal, com consequente comprometimento de sua integridade funcional. Corroborando essa perspectiva, Klevenhusen et al. (2013) citam que a redução do pH, associada ao acúmulo de AGCC, em dietas com alto

teor de cevada, promove alterações eletrofisiológicas e aumento na permeabilidade da parede ruminal, com consequente estresse tecidual.

Nesse contexto, a inclusão estratégica de fibra efetiva torna-se indispensável para modular o perfil fermentativo e preservar a integridade do epitélio ruminal. Beckett et al. (2021) reforçam essa concepção, confirmando que dietas balanceadas em fibra, asseguram a plena eficiência digestiva e o bem-estar animal em sistemas de alimentação intensiva.

Portanto, em sistemas de confinamento, a fibra dietética mantém-se como um elemento central na sustentação da fisiologia digestiva dos ruminantes. Desta forma, sua atuação nos processos de fermentação microbiana garante tanto a preservação da saúde ruminal quanto o adequado desempenho zootécnico dos animais, pilares essenciais para a sustentabilidade dos sistemas de produção de pecuária intensiva.

2.4. Contribuições da Fibra Fisicamente Efetiva para a Saúde Ruminal

O conceito de fibra fisicamente efetiva (FDNfe) constituiu um marco significativo na evolução da nutrição de ruminantes, ao integrar, de forma sinérgica, as dimensões química e física da fibra dietética. Esse parâmetro consolidou-se como a métrica mais apropriada para avaliação da qualidade da fibra nas dietas desses animais, sendo amplamente adotado por nutricionistas, sobretudo em formulações que visam à manutenção da saúde ruminal e à eficiência produtiva (SILVESTRE & MILLEN, 2021). De acordo com Mertens (1997), a FDNfe corresponde à fração da fibra detergente neutro (FDN) que, além de fornecer substrato fermentescível para a microbiota ruminal, apresenta características físicas, como o comprimento de partícula, a resistência estrutural e a densidade, capazes de estimular mecanicamente a mastigação e a ruminação. Segundo Grant, (2023) esses estímulos favorecem a produção de saliva, um tamponante natural, essencial para a estabilização do pH ruminal e, consequentemente, para a preservação da homeostase digestiva.

Essa interação entre as propriedades físicas da fibra e os processos fisiológicos do rúmen é amplamente reconhecida como determinante para assegurar a saúde ruminal, sobretudo em dietas com elevada densidade energética. Nesse contexto, Banakar et al. (2018) ressaltaram o papel da FDNfe

como uma ferramenta integradora entre a qualidade física da fibra e as respostas fermentativas e comportamentais do rúmen, permitindo uma formulação dietética mais ajustada às necessidades fisiológicas dos ruminantes.

Ressalta-se, que diferente da simples quantificação do FDN total, a FDNfe incorpora parâmetros como o tamanho, forma e estrutura das partículas, atributos que definem o potencial da fibra para formar e manter a matriz fibrosa flutuante (*Mat Ruminal*) que favorece a estratificação eficiente do conteúdo do rúmen (BEAUCHEMIN et al., 2006; LOCKARD et al., 2021). Essa estratificação regula o tempo de retenção das partículas e promove um ambiente adequado para a fermentação microbiana, otimizando a digestão das frações fibrosas. Nesse sentido, Cao et al. (2021) demonstraram que dietas com maiores concentrações de FDNfe ampliam a atividade mastigatória, estabilizam o pH ruminal e previnem disfunções metabólicas, como a SARA. Corroborando, Beauchemin et al., (2006) e Zebeli et al. (2012) enfatizam os efeitos benéficos da FDNfe sobre a quantidade total de AGCC produzidos, bem como no perfil desses metabólitos, com elevação na proporção de acetato em relação ao propionato; e, no consequente, favorecimento da síntese de gordura e no aprimoramento da eficiência metabólica dos animais.

Em contrapartida, dietas com baixo teor de FDNfe, notadamente aquelas com alta inclusão de concentrados, comprometem os mecanismos fisiológicos do rúmen, resultando na redução do tempo de ruminação, diminuição na produção de saliva e aumento na instabilidade do pH ruminal; predispondo os animais a desequilíbrios fermentativos e distúrbios metabólicos, como a SARA (FOX & TEDESCHI, 2002; HOSSAIN, 2021).

Para prevenir tais disfunções, a avaliação criteriosa do tamanho das partículas na dieta torna-se essencial. Nesse sentido, o Separador de Partículas Penn State (PSPS), é uma técnica muito eficiente e amplamente utilizada na prática nutricional, pois permite monitorar a distribuição das partículas, garantindo adequados níveis de FDNfe e promovendo um ambiente ruminal equilibrado (GRANT, 2023).

Além disso, a adequação dos níveis de FDNfe é essencial para sustentar a atividade da microbiota celulolítica, responsável pela degradação das frações fibrosas e pela produção contínua de AGCC. Osuolale (2024) reforça que a

manipulação do tamanho da partícula e da fonte de fibra, influenciam diretamente nos parâmetros fermentativos, como na produção de AGCC, no pH ruminal e na eficiência na utilização da fibra, fatores estes críticos para o desempenho zootécnico.

De forma similar, Zebeli et al. (2012) apontaram que o balanço entre o nível da fibra efetiva e o amido fermentescível é essencial para a manutenção de uma degradação ruminal estável. Complementarmente, Yang & Beauchemin (2006) destacaram que dietas balanceadas em FDNfe favorecem o tempo de mastigação e minimizam o risco de acidose ruminal, contribuindo para a saúde e o desempenho zootécnico de bovinos.

No intuito de quantificar os níveis mínimos de FDNfe necessários para preservar a estabilidade ruminal, Zebeli et al. (2012) introduziram o conceito de FDNfe crítica. Essa referência não se limita ao teor de FDN, mas prioriza o tamanho efetivo das partículas. Assim, a fração FDNfe >8 mm correspondente às partículas superiores a 8 milímetros, e possui dimensão adequada para estimular mastigação e a ruminação. Esses autores estimam que dietas com menos de 14,9% de FDNfe com >8 mm, expresso na matéria seca total, elevam significativamente o risco de SARA, ao passo que níveis entre 16,4 e 20,6% são considerados ideais para garantir motilidade ruminal adequada, a estabilidade do pH e a eficiência na fermentação. Tais evidências reforçam a necessidade de formular dietas que contemplem múltiplas características da fibra, com atenção especial ao tamanho efetivo das partículas, para assegurar saúde ruminal e desempenho produtivo.

Além do teor de FDNfe, o tipo de fibra e sua interação com o amido fermentável são determinantes para a modulação do ambiente ruminal. Nesse contexto, Pereira et al. (2023) demonstraram que a combinação entre FDNfe e a uFDN (Fibra em Detergente Neutro não digestível - *Undigested Neutral Detergent Fiber*) ou a iFDN (Fibra em Detergente Neutro indigestível - *Indigestible Neutral Detergent Fiber*) impacta não apenas a motilidade ruminal, mas também a integridade da barreira epitelial e os perfis fermentativos, reforçando a importância de considerar múltiplas frações fibrosas na formulação de dietas.

Ressalta-se que a uFDN (não digestível) e a iFDN (indigestível) representam a mesma fração da fibra não aproveitável. Tendo a uFDN surgido na Universidade de Cornell, por razões ligadas à evolução da pesquisa do iFDN, em função da necessidade de se aumentar a precisão da formulação das dietas para ruminantes. Podendo-se, assim, com a uFDN ajustar os diferentes tempos de incubação, e verificar quando e quanto de fibra está indisponível em cada espaço temporal. Atualmente, o uFDN está sendo empregado nos sistemas de modelagem nutricional dos sistemas *Cornell Net Carbohydrate and Protein System* (CNCPS) e *Nutritional Dynamic System* (NDS).

Assim, a FDNfe consolida-se como um parâmetro central na formulação de dietas para ruminantes, especialmente em sistemas intensivos de confinamento, nos quais a alta densidade energética e a baixa inclusão de volumosos impõem desafios à estabilidade ruminal. A integração criteriosa entre o tamanho de partícula, o teor de fibra e sua interação com a taxa de degradabilidade dos carboidratos é indispensável para assegurar a eficiência fermentativa, o bem-estar animal e a sustentabilidade produtiva.

2.5. Seletividade Alimentar e Suas Implicações Sobre o Desenvolvimento e a Saúde Ruminal

O comportamento alimentar dos bovinos constitui-se num fator determinante para a eficiência produtiva e a preservação da saúde ruminal. Entre as manifestações típicas observadas em sistemas intensivos de produção, destaca-se a seletividade alimentar (*feed sorting*), prática instintiva em que os animais escolhem determinados componentes físicos da dieta em detrimento de outros, alterando assim o perfil nutricional do alimento efetivamente ingerido em relação ao originalmente formulado (MILLER-CUSHON & DEVRIES, 2017). A expressão desse comportamento varia conforme fatores como a granulometria da dieta, o manejo alimentar, a densidade das partículas e, ainda, aspectos sociais como a competição no cocho (HOSSEINKHANI et al., 2008).

Além desses aspectos, os fatores psicogênicos também exercem influência significativa sobre a seletividade alimentar dos bovinos. Elementos como o sabor, odor, textura, aparência visual dos alimentos, o estado emocional do animal, as interações sociais e o aprendizado prévio modulam de forma

complexa o comportamento de ingestão e a preferência por determinados ingredientes (MERTENS, 1994). Evidências mais recentes indicam que a experiência individual com alimentos, especialmente em contextos de competição alimentar ou exposição a forragens de menor palatabilidade, pode reforçar preferências ou aversões, afetando a escolha e o consumo efetivo da dieta (DISTEL; VILLALBA, 2018).

Tal seletividade impacta diretamente a dinâmica fermentativa do rúmen, influenciando a produção de AGCC, na estabilidade do pH ruminal e, em última instância, na saúde geral do rúmen. Em dietas ricas em concentrados, comuns em sistemas intensivos de confinamento, a predileção por partículas pequenas e altamente fermentáveis, em especial aquelas ricas em amido, intensifica a produção de AGCC, reduzindo o pH ruminal e elevando o risco de SARA, conforme descrito por Coon et al. (2019). Esta condição, caracterizada pela persistente redução do pH ruminal devido à acumulação excessiva de ácidos e à ingestão insuficiente de fibra fisicamente efetiva, compromete o equilíbrio ácido-base do ambiente ruminal, favorecendo processos inflamatórios que comprometem a digestibilidade e o desempenho produtivo do animal (KOVÁCS et al., 2020). As consequências mais relevantes da SARA em bovinos confinados incluem a diminuição da eficiência alimentar, a queda nas taxas de ganho de peso diário (GPD), além do aumento da incidência de laminite e abscessos hepáticos; fatores estes que afetam negativamente o bem-estar animal e a rentabilidade financeira da atividade (MILLEN et al., 2016).

A magnitude da seletividade alimentar é influenciada por múltiplos fatores, entre eles o estágio fisiológico dos animais, o tipo de dieta e até mesmo as condições ambientais, como o estresse térmico (MILLER-CUSHON et al., 2019). Em confinamentos nos quais predominam o uso de ração total misturada (RTM), a prática de *feed sorting* pelos animais assume um papel ainda mais relevante, pois a heterogeneidade da granulometria dietética favorece a manipulação seletiva da ingestão, alterando o equilíbrio entre a fibra fisicamente efetiva (FDNfe) e os carboidratos não fibrosos (RODRIGUES et al., 2024; KOCH et al., 2023; LLONCH et al., 2020). Esse desbalanceamento não apenas intensifica o risco de distúrbios ruminais, como também compromete funções essenciais como a mastigação, a ruminação e a produção de saliva, fatores

estes considerados indispensáveis para a manutenção da homeostase ruminal (CAO et al., 2021).

Nesse cenário, o conceito de palatabilidade adquire relevância particular, sendo definido como o grau de aceitação e preferência por determinados ingredientes da dieta. Em geral, componentes mais palatáveis, como concentrados ricos em amido ou açúcares, são seletivamente preferidos em detrimento das frações fibrosas, cuja ingestão, embora fundamental para a saúde digestiva, demanda maior esforço mastigatório e mais tempo dispendido na degradabilidade ruminal (MILLER-CUSHON & DEVRIES, 2009). Assim, o comportamento de seleção evidencia uma clara tendência dos animais em consumir preferencialmente partículas pequenas e fermentescíveis, rejeitando as partículas maiores e fibrosas (GRANT & FERRARETTO, 2018).

Dessa forma, a mensuração cuidadosa do cocho, por meio da análise da composição das sobras alimentares, torna-se uma ferramenta essencial para o monitoramento da seletividade. Ressalta-se que a presença predominante de partículas longas e fibrosas nas sobras do cocho, indica uma preferência acentuada pelos concentrados, o que evidencia a necessidade de ajustes na formulação ou no manejo da dieta (STAUDER et al., 2020).

Importante destacar que as implicações da seletividade alimentar transcendem os bovinos adultos, afetando também o desenvolvimento de animais jovens. Assim, a ingestão desbalanceada de partículas pode comprometer a maturação das papilas ruminais, cujas estruturas são essenciais para a absorção eficiente dos AGCC, e, portanto, prejudicar a capacidade fermentativa, resultando em consequências negativas sobre o desempenho produtivo (MILLER-CUSHON & DEVRIES, 2015). Ademais, evidências demonstram que ambientes de alta competição alimentar ou de espaço restrito intensificam o comportamento seletivo, exacerbando as desigualdades de consumo entre os indivíduos e acentuando variações de desempenho dentro dos lotes (HOSSEINKHANI et al., 2008).

Frente a esses desafios, a gestão adequada da seletividade alimentar torna-se indispensável e deve englobar estratégias abrangentes, desde a adequação da granulometria e da densidade das partículas na RTM até o aprimoramento do manejo alimentar, como o aumento da frequência de

fornecimento das dietas e a busca por maior homogeneização dos ingredientes (GRANT & FERRARETTO, 2018; KRÖGER et al., 2019).

Em síntese, embora o *feed sorting* constitua um comportamento natural dos bovinos, a sua ocorrência descontrolada pode comprometer o desenvolvimento ruminal, desencadear distúrbios metabólicos e impactar negativamente o desempenho produtivo. Portanto, a compreensão aprofundada desse fenômeno, aliada à implementação de práticas nutricionais e de manejo adequadas, é fundamental para assegurar o equilíbrio entre palatabilidade, saúde ruminal e eficiência produtiva em sistemas intensivos de criação.

2.6. Avaliação da Granulometria e Seletividade Alimentar Através do Separador de Partículas de Penn State

O *Penn State Particle Separator* (PSPS) consolidou-se como uma ferramenta essencial na nutrição de ruminantes, ao permitir a avaliação granulométrica das dietas, especialmente da ração total misturada (RTM), com o objetivo de estimar a fração fisicamente efetiva da fibra em detergente neutro (FDNfe).

Desenvolvido por Lammers et al. (1996), na *Pennsylvania State University*, o PSPS surgiu como uma alternativa prática aos métodos laboratoriais tradicionais e invasivos, como o uso de animais contendo cânulas ruminais. Desta forma, o PSPS proporciona uma forma acessível e eficiente para monitorar o tamanho das partículas nos alimentos fornecidos aos ruminantes.

A configuração original do PSPS era composta por duas peneiras sobrepostas, com aberturas de 19 e 8 milímetros (mm), além de uma bandeja inferior para coleta das partículas menores. Contudo, com os avanços na compreensão da digestibilidade e fermentação ruminal, o método evoluiu. Heinrichs & Kononoff (2002) introduziram uma terceira peneira de 1,78 mm, permitindo uma caracterização mais refinada da distribuição das partículas, refletindo melhor o impacto dessas frações na dinâmica do rúmen. As partículas retidas na peneira de 19 mm representam aquelas que formam o *mat ruminal*, a camada superior do rúmen responsável pela estimulação da mastigação e ruminação intensivas. Já as partículas entre 8 e 19 mm compõem a fração

intermediária, enquanto as menores de 1,78 mm correspondem às partículas finas, associadas à fase líquida ruminal (CAO et al., 2021; ZEBELI et al., 2012).

Posteriormente, visando aumentar a sensibilidade do PSPS para dietas com alta inclusão de concentrados, Kononoff et al. (2003) incorporaram uma peneira adicional de 1,18 mm ao sistema, aprimorando a estimativa da FDNfe em condições laboratoriais. No entanto, com a nutrição de precisão e a densidade energética elevada das dietas modernas, verificou-se a necessidade de capturar partículas intermediárias, que, embora menores que 8 mm, ainda desempenham papel crucial na estimulação da ruminação e na produção de saliva tamponante. Para esse fim, foi incluída uma peneira de 4 mm na configuração do PSPS, ajustando-o às exigências práticas de campo, especialmente em dietas de alta proporção de concentrados (YANG et al., 2001; MAULFAIR et al., 2011). Deste modo, sua versão final consolidou-se em quatro compartimentos sobrepostos, formado pelas peneiras de 19, 8 e 4 mm, seguidas por uma bandeja inferior destinada à coleta das partículas mais finas.

Atualmente, o cálculo da FDNfe é realizado multiplicando-se o teor químico de FDN da dieta pela proporção das partículas retidas nas peneiras de 19, 8 e 4 mm, expressa em relação à matéria seca total. Essa configuração, comumente adotada em ambientes de campo, permite estimativas mais precisas do potencial físico da fibra, assegurando a manutenção das funções fisiológicas ruminais como mastigação, ruminação e produção de saliva tamponante, essenciais para a estabilidade do pH ruminal (KONONOFF et al., 2003; SMITH et al., 2020).

Ressalta-se que o conceito de FDNfe foi originalmente definido com base nas partículas retidas na peneira de 1,18 mm em análises laboratoriais (MERTENS, 1997). Contudo, a adoção prática do PSPS com a peneira de 4 mm emergiu como uma alternativa eficaz no campo, proporcionando resultados comparáveis em dietas modernas com alta inclusão de concentrados (SMITH et al., 2020).

Importante ressaltar que alguns autores ainda recomendam o cálculo da FDNfe utilizando apenas as peneiras de 19 e 8 mm, metodologia aplicada sobretudo em dietas volumosas, nas quais a fração intermediária de 4 mm, apresenta menor impacto fisiológico (YANG & BEAUCHEMIN, 2006; ZEBELI et

al., 2012). No entanto, para dietas mais concentradas, a inclusão da peneira de 4 mm é amplamente recomendada por capturar essas partículas intermediárias e fundamentais para a saúde ruminal (KONONOFF et al., 2003 e SMITH et al., 2020).

Além de seu papel na estimativa da FDNfe, o PSPS também é amplamente utilizado para monitorar a seletividade alimentar em ruminantes. O comportamento seletivo, caracterizado pela preferência dos animais por determinadas frações granulométricas, pode ser diagnosticado ao comparar a composição das partículas oferecidas e das recusadas, possibilitando ajustes na formulação das dietas para garantir homogeneidade na ingestão e otimizar o desempenho produtivo (SMITH et al., 2020).

Em conclusão, a evolução do PSPS, com a inclusão da peneira de 4 mm ao lado das tradicionais 19 e 8 mm, consolida-o como uma ferramenta central na nutrição de precisão de ruminantes, assegurando uma estimativa robusta da FDNfe, essencial para manter a estabilidade ruminal e promover o bem-estar animal em sistemas com alta densidade de concentrados.

2.7. Meta-análise Aplicada como Ferramenta de Integração de Dados Experimentais

A meta-análise constitui-se numa metodologia estatística concebida para a integração e síntese quantitativa de informações oriundas de múltiplos estudos independentes, permitindo a avaliação formal de evidências potencialmente conflitantes e a obtenção de estimativas mais acuradas acerca dos efeitos investigados (FEKETE; GYÖRFFY, 2025). Na definição clássica de Glass (1976), a meta-análise é descrita como a “análise de análises”, caracterizando-se pela combinação sistemática de resultados de diferentes experimentos com o intuito de ampliar a precisão estatística e fortalecer o poder de inferência científica.

Entre as diferentes estratégias de meta-análise, destaca-se a análise agrupada (*pooled analysis*), na qual os dados individuais de cada estudo são consolidados num único banco de dados para avaliação conjunta, preservando a estrutura original dos experimentos e permitindo modelagens estatísticas mais robustas (RILEY et al., 2010). Quando essa abordagem é aplicada a dados coletados sob protocolos metodológicos homogêneos, assume a configuração

denominada meta-análise de dados individuais (*Individual Participant Data Meta-analysis* - IPD), que difere substancialmente da meta-análise clássica baseada apenas em estatísticas sumarizadas (médias e desvios-padrão). A IPD possibilita modelagens estatísticas mais complexas e ajustes diretos para variáveis que causam confusão, conferindo maior robustez e adequação às particularidades dos dados avaliados (WANG et al., 2025).

A utilização da meta-análise de dados individuais mostra-se especialmente indicada em contextos nos quais há padronização de delineamentos, instrumentos e critérios de avaliação, ao mesmo tempo em que se reconhece e valoriza a variabilidade natural entre as amostras, tais como diferenças entre lotes de animais, condições sazonais ou formulações dietéticas. Essa variabilidade, quando adequadamente incorporada ao modelo, enriquece a interpretação dos resultados e amplia sua aplicabilidade e generalização (STEWART; TIERNEY, 2002; VESTERINEN et al., 2014). Um exemplo emblemático desse potencial é o estudo de Lesmeister et al. (2004), no qual foram reunidos dados individuais oriundos de experimentos conduzidos sob metodologia idêntica num mesmo centro experimental, integrando a variabilidade natural dos animais de forma estatisticamente consistente.

Nesse cenário, destaca-se a meta-análise interna, modalidade caracterizada pela integração de dados provenientes de experimentos independentes, porém realizados num mesmo centro experimental e conduzidos sob protocolos metodológicos homogêneos, ainda que envolvendo populações distintas em momentos distintos. Essa abordagem é considerada apropriada desde que se assegure a independência das unidades amostrais entre os experimentos e que cada conjunto de dados seja tratado como um evento experimental autônomo, evitando a reutilização dos mesmos indivíduos (SIMMONDS et al., 2005).

Cumprе salientar, contudo, a distinção conceitual entre a meta-análise interna e as análises de medidas repetidas no tempo. Nas medidas repetidas, um mesmo indivíduo é avaliado em diferentes momentos, o que gera correlação intrínseca entre as observações e exige métodos estatísticos específicos para o devido tratamento dessa dependência (GUEORGUEVA; KRYSTAL, 2004). Na meta-análise interna, por outro lado, cada experimento é constituído por

indivíduos distintos, o que assegura a independência estatística das unidades amostrais e, consequentemente, maior liberdade analítica.

Dessa forma, a meta-análise interna de dados individuais (IPD) desponta como uma estratégia metodológica robusta para a integração de resultados oriundos de múltiplos experimentos homogêneos, potencializando a eficiência estatística, permitindo a exploração de heterogeneidades entre estudos e entre indivíduos e viabilizando análises de subgrupos que enriquecem a interpretação dos achados (DEBRAY et al., 2015). No presente estudo, tal abordagem foi empregada em associação a técnicas de agrupamento hierárquico, ampliando a capacidade de classificação das dietas avaliadas e proporcionando sínteses consistentes, sólidas e de elevada aplicabilidade às condições práticas da produção animal.

2.8. Zootecnia de Precisão e Análise de Dados Aplicadas à Gestão Dinâmica do Confinamento Comercial

A zootecnia de precisão (*Precision Livestock Farming* - PLF) consolidou-se, na última década, como uma abordagem multidisciplinar que integra sensores, tecnologias de informação e métodos analíticos para monitorar, em tempo real, variáveis individuais e coletivas dos animais (JIANG et al., 2023). Inicialmente impulsionada pela pecuária leiteira, com foco em sistemas de ordenha automatizada e sensores de monitoramento fisiológico, a PLF expandiu-se para os sistemas de bovinos de corte, incorporando tecnologias voltadas ao monitoramento do consumo de matéria seca, comportamento ingestivo e movimentação, além de sensores ambientais capazes de avaliar temperatura, umidade, qualidade do ar e condições de iluminação, favorecendo a prevenção de estresse térmico e a otimização das condições de criação (PAPAKONSTANTINO et al., 2024). Nos confinamentos comerciais, essa evolução tecnológica potencializa uma gestão mais precisa do rebanho e do ambiente de produção, resultando em ganhos de eficiência produtiva, bem-estar animal e sustentabilidade (BERNABUCCI et al., 2025).

O ambiente de confinamento caracteriza-se por uma dinâmica altamente variável na formulação de dietas, influenciada por oscilações nos custos e na

disponibilidade de ingredientes, bem como por alterações na qualidade físico-química dos volumosos e concentrados. Essas variações exigem ajustes operacionais contínuos para atender às demandas nutricionais específicas de diferentes fases produtivas e categorias animais (HANSON et al., 2024; MUTUA et al., 2025). Pires et al., (2022) demonstraram que alterações na composição das dietas impactam significativamente no comportamento ingestivo, refletindo-se na ingestão de matéria seca e na distribuição temporal do consumo. Assim, dietas comerciais podem apresentar diferenças substanciais na sua composição química, estrutura física e perfil nutricional, afetando diretamente a seletividade alimentar, a ingestão efetiva e a eficiência produtiva dos bovinos em confinamento.

Diante dessa complexidade, a capacidade de analisar rapidamente grandes volumes de informações relacionadas à composição das dietas e à resposta animal torna-se uma necessidade estratégica. Assim, ferramentas de análise multivariada, como o agrupamento hierárquico, têm se destacado por permitir a organização de dados complexos e heterogêneos em grupos de similaridade, sem a necessidade de categorias pré-definidas (MATZHOLD et al., 2024; SRINIVASAN et al., 2025). Essa flexibilidade analítica é particularmente vantajosa em sistemas de confinamento, nos quais a formulação das dietas pode mudar com frequência, inviabilizando classificações rígidas e estáticas.

Nesse contexto, técnicas de agrupamento já vêm sendo utilizadas em nutrição animal para classificar estratégias alimentares e avaliar seus impactos ambientais, como demonstrado por Ferronato et al. (2025), que aplicaram análise de agrupamento hierárquico para identificar perfis de dietas em vacas leiteiras e associá-los às emissões de metano.

Todavia, há necessidade de mais pesquisas que ampliem essa abordagem avaliativa, de forma a integrar dados de múltiplos experimentos independentes, por meio de meta-análise interna, aplicando o agrupamento hierárquico para identificar perfis de dietas de confinamento com base em suas características estruturais e nutricionais, bem como no comportamento ingestivo associado. Essa estratégia possibilitará aumento da robustez estatística nas classificações geradas, permitindo detectar padrões, tendências e *outliers* que podem orientar ajustes de formulação e manejo e se apresentando, portanto,

como uma ferramenta promissora para apoiar a tomada de decisão em confinamentos comerciais, especialmente num cenário de crescente digitalização e uso de sensores na produção animal.

2.9. Delineamento Teórico e Inferências Científicas

É notório os recentes avanços no entendimento da seletividade alimentar e da importância da granulometria da dieta para a saúde e desempenho dos bovinos confinados. Todavia, a maioria dos estudos concentra-se em avaliações isoladas de dietas, granulometria ou respostas comportamentais, sem considerar a complexidade das interações entre esses fatores sob condições experimentais controladas. Nesse sentido, existem lacunas que necessitam ser melhor investigadas, de modo a permitir a integração sistemática das interações entre o perfil de partículas da dieta, o comportamento ingestivo seletivo e as condições de ambiência nos sistemas intensivos de produção.

Adicionalmente, existe uma escassez de pesquisas que utilizam abordagens de meta-análise interna para integrar dados de múltiplos experimentos independentes, realizados num mesmo centro de pesquisa, sob protocolos homogêneos, porém envolvendo populações distintas em diferentes ciclos produtivos; de maneira a permitir a identificação de padrões robustos e a elaboração de sínteses generalizáveis que possam ser aplicadas de forma prática nos sistemas de confinamento.

Outro ponto de atenção reside na limitada compreensão dos efeitos da seletividade alimentar em diferentes fases do confinamento (adaptação, crescimento e terminação) especialmente no que diz respeito à evolução da fibra fisicamente efetiva consumida ao longo do ciclo produtivo e suas implicações sobre o desempenho zootécnico e o equilíbrio ruminal.

Adiciona-se ainda, a insipiente quantidade de informações existentes sobre a influência das condições de ambiência, como a disponibilidade de sombra, sobre o comportamento de seleção de partículas, ainda que seu impacto sobre o conforto térmico e o CMS seja amplamente reconhecido.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo Geral

Avaliar, de forma integrada, o comportamento de seletividade alimentar de bovinos de corte confinados, submetidos a diferentes perfis de dieta e condições de ambiência, utilizando dados provenientes de múltiplos experimentos independentes, conduzidos sob protocolos metodológicos homogêneos.

3.2. Objetivos Específicos

Caracterizar o perfil granulométrico das dietas fornecidas nos experimentos analisados, utilizando o Separador de Partículas de Penn State (PSPS), a fim de quantificar a distribuição das partículas em diferentes frações granulométricas e estabelecer a base física para a análise da seletividade alimentar.

Investigar a influência da granulometria da dieta sobre o comportamento de seleção de partículas pelos bovinos confinados, analisando as preferências ou rejeições por frações específicas, bem como sua associação com o consumo de matéria seca.

Avaliar os efeitos das condições de ambiência, notadamente a presença ou ausência de sombreamento nas instalações de confinamento, sobre a seletividade alimentar dos bovinos, considerando possíveis variações no comportamento ingestivo e nos padrões de consumo em resposta ao estresse térmico.

Integrar os dados provenientes de múltiplos experimentos independentes, conduzidos num mesmo centro de pesquisa sob protocolos padronizados, por meio da aplicação da meta-análise interna de dados individuais, visando identificar padrões consistentes de seletividade alimentar e suas relações com variáveis ambientais, físicas e nutricionais.

Empregar abordagens de meta-análise interna de dados individuais e agrupamento hierárquico, de modo a elucidar as implicações desse comportamento sobre a ingestão de nutrientes, a eficiência energética e a

estabilidade do ambiente ruminal ao longo das distintas fases do confinamento.

Fornecer subsídios científicos sólidos que orientem o aprimoramento das estratégias nutricionais e de manejo aplicáveis aos sistemas intensivos de produção de bovinos de corte em ambientes tropicais.

4. REFERÊNCIAS

- ABIEC – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS EXPORTADORAS DE CARNE. Beef Report 2024: perfil da pecuária no Brasil. São Paulo: ABIEC, 2024. Disponível em: <https://www.abiec.com.br/publicacoes/beef-report-2024-perfil-da-pecuaria-no-brasil/>. Acesso em: 25 abr. 2025.
- ALMEIDA, E. R.; NEUMANN, M.; DURMAN, T.; SOUZA, A. M.; CRISTO, F. B.; BALDISSERA, E.; BREMM, E. E. A adição do dipropionato de amônio na ração total misturada não altera o comportamento ingestivo, mas melhora o desempenho produtivo de novilhos confinados. *Ciência Animal Brasileira*, v. 24, p. e-74652P, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1809-6891v24e-74652P>. Acesso em: 08 maio 2025.
- ANTANAITIS, R.; DŽERMEIKAITĖ, K.; KRIŠTOLAITYTĖ, J.; RIBELYTĖ, I.; BESPALOVAITĖ, A.; BULVIČIŪTĖ, D.; PALUBINSKAS, G.; ANSKIENĖ, L. The impacts of heat stress on rumination, drinking, and locomotory behavior, as registered by innovative technologies, and acid–base balance in fresh multiparous dairy cows. *Animals*, v. 14, n. 8, p. 1169, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ani14081169>. Acesso em: 25 abr. 2025.
- ARCANJO, A. H. M.; ÍTAVO, L. C. V.; ÍTAVO, C. C. B. F.; DIAS, A. M.; DIFANTE, G. S.; FRANCO, G. L.; LONGHINI, V. Z.; GOMES, F. K.; ALI, O.; SANTANA, J. C. S.; GURGEL, A. L. C.; CANDIDO, A. R.; COSTA, C. M. Effectiveness of cottonseed cake fibre included in the diet of Nellore steers finished in confinement. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, v. 67, n. 2, p. 268-282, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00288233.2022.2161096>. Acesso em: 01 mai. 2024.

- BANAKAR, P. S.; KUMAR, N. A.; SHASHANK, C. G.; LAKHANI, N. Physically effective fibre in ruminant nutrition: A review. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, v. 7, n. 4, p. 303-308, 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/349097299_Physically_effective_fibre_in_ruminant_nutrition_A_review. Acesso em: 27 abr. 2025.
- BATISTELLI, I. J. C.; BATISTELLI, J. C. de O. R.; BESS, B. L.; MENEZES, F. L. de; MORAES, K. A. K. de; MORAES, E. H. B. K. de. Intensive rearing in confinement as a management strategy in beef cattle - literature review. *Research, Society and Development*, v. 11, n. 2, p. e1611225179, 2022. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/25179>. Acesso em: 25 abr. 2025.
- BEAUCHEMIN, K. A.; YANG, W. Z.; PENNER, G. B. Ruminal acidosis in dairy cows: balancing effective fiber with starch availability. *Proceedings of the Pacific Northwest Animal Nutrition Conference, Seattle, WA*, p. 43–59, 2006. Disponível em: https://www.pnwanc.org/Portals/0/SiteContent/Documents/Proceedings/2006_01_ruminal_acidosis_in_dairy_cows.pdf. Acesso em: 26 abr. 2025.
- BECKETT, L.; GLEASON, C. B.; BEDFORD, A.; LIEBE, D.; YOHE, T. T.; HALL, M. B.; DANIELS, K. M.; WHITE, R. R. Rumen volatile fatty acid molar proportions, rumen epithelial gene expression, and blood metabolite concentration responses to ruminally degradable starch and fiber supplies. *Journal of Dairy Science*, v. 104, n. 8, p. 8857–8869, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19622>. Acesso em: 26 abr. 2025.
- BERNABUCCI, G.; EVANGELISTA, C.; GIROTTI, P.; VIOLA, P.; SPINA, R.; RONCHI, B.; BERNABUCCI, U.; BASIRICÒ, L.; TURINI, L.; MANTINO, A.; MELE, M.; PRIMI, R. Precision livestock farming: an overview on the application in extensive systems. *Italian Journal of Animal Science*, v. 24, n. 1, p. 859-884, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/1828051X.2025.2480821>. Acesso em: 04 ago. 2025.
- BROWN-BRANDL, T. M. Understanding heat stress in beef cattle. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 47, e20160414, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/rbz4720160414>. Acesso em: 25 abr. 2025.

CAO, Y.; WANG, D.; WANG, L.; WEI, X.; LI, X.; CAI, C.; LEI, X.; YAO, J.

Physically effective neutral detergent fiber improves chewing activity, rumen fermentation, plasma metabolites, and milk production in lactating dairy cows fed a high-concentrate diet. *Journal of Dairy Science*, v. 104, n. 5, p. 5631–5642, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19012>. Acesso em: 27 abr. 2025.

CARDOSO, C. C.; PERIPOLLI, V.; AMADOR, S. A.; BRANDÃO, E. G.; ESTEVES, G. I. F.; SOUSA, C. M. Z.; FRANÇA, M. F. M. S.; GONÇALVES, F. G.; BARBOSA, F. A.; MONTALVÃO, T. C.; MARTINS, C. F.; FONSECA NETO, A. M.; McMANUS, C. Physiological and thermographic response to heat stress in zebu cattle. *Livestock Science*, v. 182, p. 83–92, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2015.10.022>. Acesso em: 9 maio 2025.

COON, R. E.; DUFFIELD, T. F.; DEVRIES, T. J. Short communication: Risk of subacute ruminal acidosis affects the feed sorting behavior and milk production of early lactation cows. *Journal of Dairy Science*, v. 102, n. 7, p. 6387–6397, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030218310658>. Acesso em: 28 abr. 2025.

DAYOUB, M.; SHNAIGAT, S.; TARAWNEH, R. A.; AL-YACOUB, A. N.; AL-BARAKEH, F.; AL-NAJJAR, K. Enhancing animal production through smart agriculture: possibilities, hurdles, resolutions, and advantages. *Ruminants*, v. 4, n. 1, p. 22–46, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ruminants4010003>. Acesso em: 25 abr. 2025.

DEAN, L.; TARPOFF, A. J.; NICKLES, K.; PLACE, S.; EDWARDS-CALLAWAY, L. Heat stress mitigation strategies in feedyards: Use, perceptions, and experiences of industry stakeholders. *Animals*, v. 13, n. 19, p. 3029, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ani13193029>. Acesso em: 9 maio 2025.

DEBORD, Z. L. Effect of shade and limit feeding on growing cattle during heat stress. 2023. 129 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Animais) – Kansas State University, Manhattan, 2023. Disponível em: <https://krex.k-state.edu/handle/2097/43068>. Acesso em: 25 abr. 2025.

- DEBRAY, T. P. A.; MOONS, K. G. M.; VAN VALKENHOEF, G.; EFTHIMIOU, O.; HUMMEL, N.; GROENWOLD, R. H. H.; REITSMA, J. B. Get real in individual participant data (IPD) meta-analysis: a review of the methodology. *Research Synthesis Methods*, v. 6, n. 4, p. 293–309, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/jrsm.1160>. Acesso em: 27 abr. 2025.
- DISTEL, R. A.; VILLALBA, J. J. Use of unpalatable forages by ruminants: The influence of experience with the biophysical and social environment. *Animals*, v. 8, n. 4, p. 56, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ani8040056>. Acesso em: 9 maio 2025.
- EERING, R.; BAUMONT, R.; SELJE-AßMANN, N.; DICKHOEFER, U. Effect of physically effective fibre on chewing behaviour, ruminal fermentation, digesta passage and protein metabolism of dairy cows. *The Journal of Agricultural Science, Cambridge*, v. 161, p. 720–733, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S0021859623000539>. Acesso em: 26 abr. 2025.
- FEKETE, J. T.; GYÖRFFY, B. MetaAnalysisOnline.com: web-based tool for the rapid meta-analysis of clinical and epidemiological studies. *Journal of Medical Internet Research*, v. 27, n. 1, e64016, 2025. Disponível em: <https://www.jmir.org/2025/1/e64016/>. Acesso em: 27 abr. 2025.
- FERREIRA, J. R. A.; ROÇA, R. O.; GOMES, D. F.; SOUZA, A. C. R.; LUZ, R. P.; OLIVEIRA, L. F. Parâmetros de qualidade avaliados em carne bovina: uma revisão. *Brazilian Journal of Development*, v. 9, n. 2, p. 1320-1333, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.34188/bjaerv6n2-031>. Acesso em: 25 abr. 2025.
- FERRONATO, G.; TOBANELLI, N.; SIMONETTO, A.; GILIOLI, G.; FORMIGONI, A. Clustering of feeding strategies to improve the evaluation of enteric and slurry methane emissions in dairy cows: an observational study based on Italian dairy farms. *Italian Journal of Animal Science*, v. 24, n. 1, p. 1390-1403, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/1828051X.2025.2517229>. Acesso em: 04 ago. 2025.
- FORBES. Brasil confinou 7,96 milhões de bovinos em 2024. *Forbes Agro*, 10 dez. 2024. Disponível em: <https://forbes.com.br/forbesagro/2024/12/brasil-confinou-796-milhoes-de-bovinos-em-2024/>. Acesso em: 25 abr. 2025.

- FOX, D. G.; TEDESCHI, L. O. Application of physically effective fiber in diets for feedlot cattle. In: *Proceedings of the Plains Nutrition Council Spring Conference*, 2002, San Antonio, TX. San Antonio: Plains Nutrition Council, 2002. p. 67-81. Disponível em: <https://nutritionmodels.com/papers/FoxandTedeschiPNC2002.pdf>. Acesso em: 27 abr. 2025.
- GAUGHAN, J. B.; MADER, T. L.; HOLT, S. M.; HAHN, G. L. Assessing the heat tolerance of 17 beef cattle genotypes. *International Journal of Biometeorology*, v. 52, n. 6, p. 505–518, 2008. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19458966/>. Acesso em: 28 abr. 2025.
- GLASS, G. V. Primary, secondary, and meta-analysis of research. *Educational Researcher*, v. 5, n. 10, p. 3–8, 1976. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/1174772>. Acesso em: 27 abr. 2025.
- GRANT, R. J. Symposium review: Physical characterization of feeds and development of the physically effective fiber system. *Journal of Dairy Science*, v. 106, n. 6, p. 5080-5096, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3168/jds.2022-22419>. Acesso em: 26 abr. 2025.
- GRANT, R. J.; FERRARETTO, L. F. Silage review: Silage feeding management: Silage characteristics and dairy cow feeding behavior. *Journal of Dairy Science*, v. 101, n. 5, p. 4111–4121, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030218303291>. Acesso em: 28 abr. 2025.
- GUEORGUIEVA, R.; KRYSTAL, J. H. Move Over ANOVA: Progress in Analyzing Repeated-Measures Data and Its Reflection in Papers Published in the Archives of General Psychiatry. *Archives of General Psychiatry*, v. 61, n. 3, p. 310–317, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1001/archpsyc.61.3.310>. Acesso em: 27 abr. 2025.
- GUNDERSEN, K.; FEVOLD, M.; MADDOCK, R.; CARLSON, Z.; CARLIN, K. M. The influence of carcass weight and external fat thickness on chilling rate of commercial beef carcasses. North Dakota Livestock Research Report, AS2100-19, p. 69–72, 2023. Disponível em: <https://www.ndsu.edu/agriculture/sites/default/files/2023-12/AS2100-19.pdf>. Acesso em: 8 maio 2025.

HANSON, S. R.; DEHAAN, E. R.; FRANCIS, F. L.; RUSCHE, W. C.; SMITH, Z. K. Evaluation of precision ingredient inclusion on production efficiency responses in finishing beef cattle. *Ruminants*, v. 4, p. 112-124, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ruminants4010007>. Acesso em: 04 ago. 2025.

HEINRICHS, J.; KONONOFF, P. Evaluating particle size of forages and TMRs using the new Penn State Forage Particle Separator. [S. l.], [s. n.], 2002. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/292446593_Evaluating_particle_size_of_forages_and_TMRs_using_the_new_Penn_State_Forage_Particle_Separator. Acesso em: 16 abr. 2025.

HERNANDEZ, A. S.; ZAYAS, G. A.; RODRIGUEZ, E. E.; SARLO DAVILA, K. M.; RAFIQ, F.; NUNEZ, A. N.; TITTO, C. G.; MATEESCU, R. G. Exploring the genetic control of sweat gland characteristics in beef cattle for enhanced heat tolerance. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, v. 15, n. 66, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s40104-024-01025-4>. Acesso em: 9 maio 2025.

HOSSAIN, E. Forage particle size: it's implications on behavior, performance, health and welfare of dairy cows. *Online Journal of Animal and Feed Research*, v. 11, n. 3, p. 72-81, 2021. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.51227/ojafr.2021.13>. Acesso em: 27 abr. 2025.

HOSSEINKHANI, A.; DEVRIES, T. J.; PROUDFOOT, K. L.; VALIZADEH, R.; VEIRA, D. M.; VON KEYSERLINGK, M. A. G. The effects of feed bunk competition on the feed sorting behavior of close-up dry cows. *Journal of Dairy Science*, v. 91, n. 3, p. 1115–1121, 2008. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030208713675>. Acesso em: 28 abr. 2025.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Pesquisa da Pecuária Municipal 2023: efetivo do rebanho bovino nacional. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/3939>. Acesso em: 25 abr. 2025.

ISLAM, M. A.; LOMAX, S.; DOUGHTY, A. K.; ISLAM, M. R.; CLARK, C. E. F. Timing of eating during transition impacts feedlot cattle diet and liveweight

gain. *Animal*, v. 15, n. 3, p. 100188, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1751731120301397>.

Acesso em: 9 maio 2025.

ISLAM, M. A.; LOMAX, S.; DOUGHTY, A. K.; ISLAM, M. R.; THOMSON, P. C.; CLARK, C. E. F. Revealing the diversity of internal body temperature and panting response for feedlot cattle under environmental thermal stress. *Scientific Reports*, v. 13, n. 4879, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-023-31801-7>. Acesso em: 25 ago. 2025.

JIANG, B.; TANG, W.; CUI, L.; DENG, X. Precision Livestock Farming research: a global scientometric review. *Animals*, v. 13, p. 2096, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ani13132096>. Acesso em: 04 ago. 2025.

KLEVENHUSEN, F.; HOLLMANN, M.; PODSTATZKY-LICHTENSTEIN, L.; KRAMETTER-FRÖTSCHER, R.; ASCHENBACH, J. R.; ZEBELI, Q. Feeding barley grain-rich diets altered electrophysiological properties and permeability of the ruminal wall in a goat model. *Journal of Dairy Science*, v. 96, n. 4, p. 2293–2302, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.3168/jds.2012-6187>. Acesso em: 26 abr. 2025.

KOCH, C.; SCHÖNLEBEN, M.; MENTSCHER, J.; GÖRES, N.; FISSORE, P.; COHRS, I.; SAUERWEIN, H.; GHAFARI, M. H. Growth performance and economic impact of Simmental fattening bulls fed dry or corn silage-based total mixed rations. *Animal*, v. 17, n. 4, art. 100762, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.animal.2023.100762>. Acesso em: 28 abr. 2025.

KONONOFF, P. J.; HEINRICHS, A. J.; BUCKMASTER, D. R. Modification of the Penn State Forage and Total Mixed Ration Particle Separator and the effects of moisture content on its measurements. *Journal of Dairy Science*, v. 86, n. 5, p. 1858-1863, 2003. Disponível em: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73773-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73773-4). Acesso em: 26 abr. 2025.

KOVÁCS, L.; RÓZSA, L.; PÁLFFY, M.; HEJEL, P.; BAUMGARTNER, W.; SZENCI, O. Subacute ruminal acidosis in dairy cows - physiological background, risk factors and diagnostic methods. *Veterinarska Stanica*, v. 51, n. 1, p. 5–17, 2020. Disponível em:

- <https://www.researchgate.net/publication/341404481>. Acesso em: 28 abr. 2025.
- KRÖGER, I.; HUMER, E.; NEUBAUER, V.; REISINGER, N.; ZEBELI, Q. Feeding diets moderate in physically effective fibre alters eating and feed sorting patterns without improving ruminal pH, but impairs liver health in dairy cows. *Animals*, v. 9, n. 4, art. 128, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ani9040128>. Acesso em: 28 abr. 2025.
- KREHBIEL, C. R. Invited review: Applied nutrition of ruminants: Fermentation and digestive physiology. *The Professional Animal Scientist*, v. 30, n. 2, p. 129-139, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1080744615301005>. Acesso em: 25 abr. 2025.
- KUNG, L. The role of fiber in ruminant health and dairy productivity. University of Delaware Cooperative Extension, 2014. Disponível em: <http://cdn.canr.udel.edu/wp-content/uploads/2014/02/The-Role-of-Fiber-in-Ruminant-Ration-Formulation.pdf>. Acesso em: 26 abr. 2025.
- LAMMERS, B. P.; BUCKMASTER, D. R.; HEINRICHS, A. J. A simple method for the analysis of particle sizes of forage and total mixed rations. *Journal of Dairy Science*, v. 79, n. 5, p. 922-928, 1996. Disponível em: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(96\)76442-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(96)76442-1). Acesso em: 27 abr. 2024.
- LESMEISTER, K. E.; TOZER, P. R.; HEINRICHS, A. J. Development and analysis of a rumen tissue sampling procedure. *Journal of Dairy Science*, v. 87, n. 5, p. 1336-1344, 2004. Disponível em: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)73283-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73283-X). Acesso em: 29 abr. 2025.
- LINDER, H. F.; BERGER, L. L.; MCCANN, J. C. Effects of ruminal acidosis on rumen fermentation of steers adapted to a high concentrate diet. *Journal of Animal Science*, v. 102, supl. 2, p. 344-345, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/jas/skae102.394>. Acesso em: 25 abr. 2025.
- LLONCH, L.; CASTILLEJOS, L.; FERRET, A. Increasing the content of physically effective fiber in high-concentrate diets fed to beef heifers affects intake, sorting behavior, time spent ruminating, and rumen pH. *Journal of*

- Animal Science*, v. 98, n. 6, p. 1–13, 2020. Disponível em: <https://academic.oup.com/jas/article/98/6/skaa192/5855090>. Acesso em: 28 abr. 2025.
- LOCKARD, C. L.; YANG, W. Z.; BEAUCHEMIN, K. A. Fiber mat consistency and particle size distribution in the rumen when fed different physically effective fiber sources. *Journal of Animal Science*, v. 99, n. 5, skab214, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/jas/skab214>. Acesso em: 26 abr. 2025.
- MATZHOLD, C.; SCHODL, K.; KLIMEK, P.; STEININGER, F.; EGGER-DANNER, C. A key-feature-based clustering approach to assess the impact of technology integration on cow health in Austrian dairy farms. *Frontiers in Animal Science*, v. 5, p. 1421299, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fanim.2024.1421299>. Acesso em: 04 ago. 2025.
- MAULFAIR, D. D.; FUSTINI, M.; HEINRICHS, A. J. Effect of varying total mixed ration particle size on rumen digesta and fecal particle size and digestibility in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, v. 94, n. 7, p. 3527-3536, 2011. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030211003481>. Acesso em: 25 abr. 2025.
- MERTENS, D. R. Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, v. 80, n. 7, p. 1463-1481, 1997. Disponível em: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(97\)76075-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(97)76075-2). Acesso em: 19 abr. 2024.
- MERTENS, D. R. Regulation of forage intake. In: FAHEY, G. C. (Ed.). *Forage Quality, Evaluation, and Utilization*. Madison: American Society of Agronomy, 1994. p. 450–493. Disponível em: <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2134/1994.foragequality.c11>. Acesso em: 9 maio 2025.
- MILLEN, D. D.; PACHECO, R. D. L.; CABRAL, L. S.; CURSINO, L. L.; WATANABE, D. H. M.; RIGUEIRO, A. L. N. Ruminal acidosis. In: MILLEN, D. D. et al. (ed.). *Rumenology*. Cham: Springer, 2016. p. 103–122. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-30533-2_5. Acesso em: 28 abr. 2025.

- MILLER, D. W.; MCPHAIL, L.; COLLIER, R. J.; TAYLOR, J. L.; HOPKINS, R. G.; POLSKY, L.; COLGAN, P. W.; AMOS, M. A.; LEE, C. Welfare and performance benefits of shade provision during summer for feedlot cattle in a temperate climatic zone. *Journal of Animal Science*, v. 102, skae332, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/jas/skae332>. Acesso em: 25 abr. 2025.
- MILLER-CUSHON, E. K.; DAYTON, A. M.; HORVATH, K. C.; MONTEIRO, A. P. A.; WENG, X.; TAO, S. Effects of acute and chronic heat stress on feed sorting behaviour of lactating dairy cows. *Animal*, v. 13, n. 9, p. 2044–2051, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S1751731118003762>. Acesso em: 28 abr. 2025.
- MILLER-CUSHON, E. K.; DEVRIES, T. J. Feed sorting in dairy cattle: causes, consequences, and management. *Journal of Dairy Science*, v. 100, n. 5, p. 4172–4183, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030216309201>. Acesso em: 28 abr. 2025.
- MILLER-CUSHON, E. K.; DEVRIES, T. J. Effect of dietary dry matter concentration on the sorting behavior of lactating dairy cows fed a total mixed ration. *Journal of Dairy Science*, v. 92, n. 7, p. 3291–3299, 2009. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030209706460>. Acesso em: 28 abr. 2025.
- MILLER-CUSHON, E. K.; DEVRIES, T. J. Invited review: Development and expression of dairy calf feeding behaviour. *Canadian Journal of Animal Science*, v. 95, n. 3, p. 341–350, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.4141/cjas-2014-163>. Acesso em: 28 abr. 2025.
- MUTUA, J. Y.; DUNCAN, A. J.; ROBINSON, T. P.; FRAVAL, S.; NOTENBAERT, A. M. O.; WATMOUGH, G. R. Effect of variation in gridded cattle diet composition on estimated enteric methane emissions in data sparse tropical regions. *Animal*, v. 19, p. 101396, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.animal.2024.101396>. Acesso em: 04 ago. 2025.
- NADEEM, A.; SUFYAN, A. B. Partial replacement of forage fiber with non-forage fiber in ruminant ration: a review. *Pakistan Veterinary Journal*, v. 25, n. 2, p. 102–106, 2005. Disponível em:

https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/31328802/review_forage_fiber_PVJ-libre.pdf. Acesso em: 28 abr. 2025.

NEUBAUER, V.; PETRI, R. M.; HUMER, E.; KRÖGER, I.; REISINGER, N.; BAUMGARTNER, W.; WAGNER, M.; ZEBELI, Q. Starch-rich diet induced rumen acidosis and hindgut dysbiosis in dairy cows of different lactations. *Animals*, v. 10, n. 10, p. 1727, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ani10101727>. Acesso em: 26 abr. 2025.

NIWA, M. V. G.; ÍTAVO, L. C. V.; ÍTAVO, C. C. B. F.; DIAS, A. M.; DIFANTE, G. S.; LONGHINI, V. Z.; GOMES, R. C.; VEDOVATTO, M.; GURGEL, A. L. C.; MORAES, G. J.; MONTEIRO, G. O. A. Effect of physically effective neutral detergent fiber on nutrient intake and digestibility, ruminal and blood parameters, and ingestive behavior of confined beef cattle. *Tropical Animal Health and Production*, v. 55, n. 224, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11250-023-03633-0>. Acesso em: 26 abr. 2025.

NUNES, C. L. de C.; VILELA, R. S. R.; VILAS BOAS, P. G.; SILVA, J. C. da; RAMOS, J. M. L.; MARTINS, T. da S.; CHIZZOTTI, M. L. Fast versus conventional chilling of Nellore bull carcasses: Impacts on meat color, tenderness, and pH decline. *Meat and Muscle Biology*, v. 8, n. 1, p. 1–10, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.22175/mmb.16908>. Acesso em: 8 maio 2025.

OLIVEIRA, C. P.; SOUSA, F. C. de; SILVA, A. L. da; SCHULTZ, É. B.; VALDERRAMA LONDOÑO, R. I.; SOUZA, P. A. R. de. Heat stress in dairy cows: impacts, identification, and mitigation strategies—A review. *Animals*, v. 15, n. 2, p. 249, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ani15020249>. Acesso em: 8 maio 2025.

OLIVEIRA, L. M.; SANTOS, R. T. dos; RODRIGUES, M. S.; SANTANA, M. M.; WANDER, A. E.; CARVALHO, E. R. de. Impacto da alimentação de bovinos de corte terminados em confinamento: variáveis médias e marginais. *Custos e @gronegócio on line*, v. 17, Edição Especial, p. 28–51, 2021. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1137333/1/ca-2021.pdf>. Acesso em: 08 maio 2025.

OSUOLALE, O. Utilization of physically effected fiber (PEF) in dairy cow. *International Journal of Innovation Scientific Research and Review*, v. 6, n. 6, p. 6526-6531, 2024. Disponível em: <https://journalijisr.com/sites/default/files/issues-pdf/IJISRR-1595.pdf>.

Acesso em: 27 abr. 2025.

PAPAKONSTANTINO, G. I.; VOULGARAKIS, N.; TERZIDOU, G.; FOTOS, L.; GIAMOURI, E.; PAPATSIROS, V. G. Precision Livestock Farming technology: applications and challenges of animal welfare and climate change. *Agriculture*, v. 14, p. 620, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agriculture14040620>. Acesso em: 04 ago. 2025.

PEREIRA, M. C. S.; BEAUCHEMIN, K. A.; MCALLISTER, T. A.; YANG, W. Z.; WOOD, K. M.; PENNER, G. B. Effect of physically effective neutral detergent fiber and undigested neutral detergent fiber on eating behavior, ruminal fermentation and motility, barrier function, blood metabolites, and total tract digestibility in finishing cattle. *Journal of Animal Science*, v. 101, skad023, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/jas/skad023>. Acesso em: 27 abr. 2025.

PIRES, B. V.; REOLON, H. G.; ABDUCH, N. G.; SOUZA, L. L.; SAKAMOTO, L. S.; MERCADANTE, M. E. Z.; SILVA, R. M. O.; FRAGOMENI, B. O.; BALDI, F.; PAZ, C. C. P.; STAFUZZA, N. B. Effects of feeding and drinking behavior on performance and carcass traits in beef cattle. *Animals*, v. 12, p. 3196, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ani12223196>. Acesso em: 04 ago. 2025.

RILEY, R. D.; LAMBERT, P. C.; ABO-ZAID, G. Meta-analysis of individual participant data: rationale, conduct, and reporting. *BMJ*, v. 340, c221, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1136/bmj.c221>. Acesso em: 27 abr. 2025.

RODRIGUES, M. S.; SANTOS, R. T.; OLIVEIRA, L. M.; CARVALHO, E. R. Intake pattern and feed sorting of beef cattle fed different sources of corn in a feedlot. *Revista Colombiana de Ciencia Animal - RECIA*, v. 16, n. 2, e1075, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.24188/recia.v16.n2.2024.1075>. Acesso em: 28 abr. 2025.

SAMPAIO, R. L.; LANA, R. P.; MENDES, F. B. L.; COSTA E SILVA, J. G.; COSTA, M. A. L.; PEREIRA, J. F. The nutritional interrelationship between

- the growing and finishing phases in crossbred cattle raised in a tropical system. *Tropical Animal Health and Production*, v. 49, n. 5, p. 1015–1024, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11250-017-1294-8>. Acesso em: 25 abr. 2025.
- SHAH, A. M.; ANWAR, F.; KHAN, A.; ALI, M.; AHMAD, T.; QURESHI, M. S.; KHAN, R. U.; ZUBAIR, M. Exploration of the relationships between production performance and heat stress response by ruminant animals due to feed additives. *International Journal of Agriculture and Biology*, v. 33, p. 330208, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.17957/IJAB/15.2268>. Acesso em: 25 abr. 2025.
- SILVESTRE, A. M.; MILLEN, D. D. The 2019 Brazilian survey on nutritional practices provided by feedlot cattle consulting nutritionists. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 50, n. 7, p. 1-25, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.37496/rbz5020200189>. Acesso em: 24 abr. 2024.
- SIMMONDS, M. C.; HIGGINS, J. P. T.; STEWART, L. A.; TIERNEY, J. F.; CLARKE, M. J.; THOMPSON, S. G. Meta-analysis of individual patient data from randomized trials: a review of methods used in practice. *Clinical Trials*, v. 2, n. 3, p. 209–217, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1191/1740774505cn087oa>. Acesso em: 27 abr. 2025.
- SLAYI, M.; JAJA, I. F. Strategies for mitigating heat stress and their effects on behavior, physiological indicators, and growth performance in communally managed feedlot cattle. *Frontiers in Veterinary Science*, v. 12, p. 1–12, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fvets.2025.1513368>. Acesso em: 25 abr. 2025.
- SMITH, K. M.; GRANT, R. J.; OBATA, A. Relationships between starch and physically effective and undegraded fiber in lactating dairy cows. In: *Proceedings of the Cornell Nutrition Conference for Feed Manufacturers*, 82., 2020, East Syracuse, NY. Ithaca: Cornell University, 2020. p. 66-74. Disponível em: <https://ecommons.cornell.edu/server/api/core/bitstreams/22bff6da-6a09-4be9-9722-0c8c11e140aa/content>. Acesso em: 26 abr. 2025.
- SQUIZATTI, M. M.; RIGUEIRO, A. L. N.; SILVESTRE, A. M.; SOARES, C. H. G.; ASSUMPÇÃO, A. H. P. M.; DIAS, E. F. F.; FELIZARI, L. D.; SILVA, L. A.

- F.; SOUZA, K. L. R.; CARVALHO, V. M.; DEMARTINI, B. L.; SOUZA, J. M.; MILLEN, D. D. Shortening the adaptation of Nellore cattle to high-concentrate diets using only virginiamycin as sole feed additive negatively impacts ruminal fermentation and nutrient utilization. *Frontiers in Veterinary Science*, v. 10, p. 1089903, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1089903>. Acesso em: 08 maio 2025.
- SRINIVASAN, D.; KIRAN, A.; PARAMESWARI, S.; VELLAICHAMY, J. Energy efficient hierarchical clustering based dynamic data fusion algorithm for wireless sensor networks in smart agriculture. *Scientific Reports*, v. 15, p. 7207, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-85076-7>. Acesso em: 04 ago. 2025.
- STAUDER, A.; HUMER, E.; NEUBAUER, V.; REISINGER, N.; KALTENEGGER, A.; ZEBELI, Q. Distinct responses in feed sorting, chewing behavior, and ruminal acidosis risk between primiparous and multiparous Simmental cows fed diets differing in forage and starch levels. *Journal of Dairy Science*, v. 103, n. 9, p. 8470–8483, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17760>. Acesso em: 28 abr. 2025.
- STEWART, L. A.; TIERNEY, J. F. To IPD or not to IPD? Advantages and disadvantages of systematic reviews using individual patient data. *Evaluation & the Health Professions*, v. 25, n. 1, p. 76–97, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/0163278702025001006>. Acesso em: 27 abr. 2025.
- SUHENDRO, I.; NOOR, R. R.; JAKARIA, J.; NURLATIFAH, A.; FURQON, A. Discriminating heat stress and feed scarcity in Bali cattle using multivariate trait analysis. *Research Square*, v. 1, p. 1–20, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-4904288/v1>. Acesso em: 25 abr. 2025.
- VESTERINEN, H. M.; SENA, E. S.; EGAN, K. J.; HIRST, T. C.; CHUROLOV, L.; CURRIE, G. L.; ANTONIC, A.; HOWELLS, D. W.; MACLEOD, M. R. Meta-analysis of data from animal studies: a practical guide. *Journal of Neuroscience Methods*, v. 221, p. 92–102, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2013.09.010>. Acesso em: 29 abr. 2025.
- WANG, B.; CHEN, S.; LIU, X.; ZHANG, L. Effectiveness of tuberculosis preventive treatment in patients with rheumatic diseases: a global systematic review and meta-analysis. *eClinicalMedicine*, v. 82, art. 103177,

2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.eclinm.2025.103177>. Acesso em: 27 abr. 2025.

YANG, W. Z.; BEAUCHEMIN, K. A. Physically Effective Fiber: Method of Determination and Effects on Chewing, Ruminal Acidosis, and Digestion by Dairy Cows. *Journal of Dairy Science*, v. 89, n. 7, p. 2618-2633, 2006. Disponível em: [https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302\(06\)72339-6/pdf](https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(06)72339-6/pdf). Acesso em: 27 abr. 2024.

YANG, W. Z.; BEAUCHEMIN, K. A.; RODE, L. M. Barley processing, forage:concentrate, and forage length effects on chewing and digesta passage in lactating cows. *Journal of Dairy Science*, v. 84, n. 12, p. 2709-2720, 2001. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S002203020174725X>. Acesso em: 24 abr. 2024.

ZEBELI, Q.; ASCHENBACH, J. R.; TAJAJ, M.; BOGUHN, J.; AMETAJ, B. N.; DROCHNER, W. Invited review: Role of physically effective fiber and estimation of dietary fiber adequacy in high-producing dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, v. 95, n. 3, p. 1041–1056, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4421>. Acesso em: 26 abr. 2025.

CAPÍTULO 2- ARTIGO CIENTÍFICO: A SELETIVIDADE ALIMENTAR E GRANULOMETRIA, EM DIFERENTES GRUPOS NUTRICIONAIS, E SEUS IMPACTOS NA EFICIÊNCIA NUTRICIONAL EM BOVINOS CONFINADOS

Este capítulo foi redigido conforme as normas da revista Livestock Science, sendo a tradução para o inglês realizada após a defesa.

SELETIVIDADE ALIMENTAR E GRANULOMETRIA EM DIFERENTES GRUPOS NUTRICIONAIS: IMPACTOS NA EFICIÊNCIA NUTRICIONAL EM BOVINOS CONFINADOS

Conrado Pedrosa Fragoso Carvalho^{1*}, ...

¹Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Aquidauana, MS, Brasil, 79200-000

RESUMO

A intensificação da pecuária de corte em regime de confinamento, demanda ferramentas que permitam analisar de maneira integrada a composição nutricional das dietas e o comportamento alimentar dos animais. Este estudo utilizou a análise de classificação hierárquica como ferramenta de zootecnia de precisão, em bovinos nelore e mestiços nelore x aberdeen angus, mantidos confinados, nas fases de adaptação, crescimento e terminação. As dietas de quatro experimentos, ofertadas à 7.040 animais, entre os anos de 2020 e 2022, foram agrupadas em função da proporção de forragem e da densidade energética, de maneira a permitir uma avaliação da sua estrutura física, da concentração de fibra em detergente neutro fisicamente efetiva (FDNfe), da seletividade alimentar e das ingestões de matéria seca (MS) e energia líquida de ganho (ELg). A análise hierárquica permitiu, em cada fase do confinamento, a identificação de dois grupos nutricionais, a alta forragem (AF) e baixa forragem (BF). Tendo apresentado o grupo AF uma maior retenção de partículas médias (48,10 e 48,30%, para as fases de adaptação e crescimento) em comparação ao BF (26,60 e 23,50%; $P < 0,001$), uma maior concentração de FDNfe ofertada (25,00 e 23,20% contra 20,20 e 19,40%; $P < 0,001$) e um maior consumo de MS (11,8 e 12,2 kg/dia contra 11,0 e 11,7 kg/dia; $P < 0,001$). Na terminação, o consumo de MS foi semelhante (10,8 e 10,7 kg/dia; $P = 0,395$), mas o grupo AF apresentou maior a ingestão de ELg (1,43 contra 1,33 Mcal/kg MS; $P < 0,001$) e uma maior rejeição de partículas finas (Índice de Seleção = 99,90 contra 99,65%; $P < 0,001$). Conclui-se que a análise de agrupamento hierárquico é uma ferramenta promissora para o processamento de bancos de dados amplos e heterogêneos, demonstrando alta eficiência tanto na interpretação de informações nutricionais quanto no apoio à formulação de dietas, tendo nesse estudo conseguido comprovar, com acurácia, o efeito da estrutura física da dieta sobre a seletividade alimentar e a ingestão energética.

Palavras-chave: Índice de seleção, Eficiência nutricional, Zootecnia de Precisão.

1. INTRODUÇÃO

A pecuária de corte brasileira ocupa posição de destaque mundial, sendo detentora do maior rebanho comercial e líder global nas exportações de carne bovina (Abiec, 2024; Ibge, 2025). Esse protagonismo decorre da ampla disponibilidade de recursos naturais e da adoção de tecnologias voltadas à intensificação produtiva. Dentre elas, o confinamento consolidou-se como uma estratégia fundamental por acelerar a terminação, melhorar o acabamento de carcaça e padronizar lotes destinados ao abate, atendendo à crescente exigência de mercados consumidores (Abrafrigo, 2023; Sousa e Baptista, 2023).

Os benefícios da intensificação, entretanto, dependem de um manejo nutricional criterioso, no qual a composição física da dieta exerce papel central, sobretudo quanto à inclusão da fibra fisicamente efetiva (FDNfe). Essa fração estimula a mastigação e a salivação, contribuindo para a regulação do pH ruminal e a estabilidade fermentativa (Mertens, 1997; Grant, 2023). Assim, o equilíbrio físico e químico da dieta favorece a integridade da microbiota e a degradação eficiente dos carboidratos estruturais (Beauchemin et al., 2006; Zebeli et al., 2012).

Todavia, dietas com baixa efetividade física, especialmente as de alta densidade energética e baixa inclusão de volumosos, podem estimular o comportamento de seleção alimentar, caracterizado pela preferência por partículas pequenas, palatáveis e altamente fermentescíveis, em detrimento de partículas maiores e fibrosas (Miller-Cushon e Devries, 2017). Essa seletividade altera o perfil nutricional da dieta ingerida em relação àquela formulada e pode comprometer a eficiência alimentar, reduzindo o ganho de peso e aumentando a ocorrência de distúrbios metabólicos, como abscessos hepáticos e laminite (Millen et al., 2016). Tal comportamento tende a ser mais acentuado em dietas com baixa proporção de forragens e em contextos de elevada competição alimentar, reforçando a importância do monitoramento contínuo da composição física da dieta e do comportamento ingestivo (Heinrichs e Kononoff, 2002).

Neste cenário, o Separador de Partículas de Penn State (SPSP) constitui uma ferramenta prática para a avaliação da granulometria dos alimentos e para estimar a concentração da fração fisicamente efetiva da fibra (FDNfe), de maneira a permitir classificar as partículas da dieta em diferentes faixas

granulométricas e, assim, poder calcular o índice de seleção (IS), que quantifica discrepâncias entre a proporção de partículas ofertadas e efetivamente consumidas (Heinrichs e Jones, 2022; Smith et al., 2020; Maulfair et al., 2011). Ressalta-se que a relevância do IS aumenta diante das variações nos grupos de dieta ao longo das fases de adaptação, crescimento e terminação, que alteram a proporção de volumoso e concentrado, a densidade energética e a estrutura física da dieta.

Assim, a intensificação dos sistemas de produção de bovinos de corte impulsiona o uso de ferramentas da zootecnia de precisão, que integram dados nutricionais, estruturais e comportamentais para apoiar decisões de manejo (Kleen e Guatteo, 2023). A análise de agrupamento também destaca-se como uma ferramenta para classificar objetivamente dietas ou sistemas produtivos, identificando padrões relacionados ao desempenho e à saúde animal (Matzhold et al., 2024).

Diante desse contexto, este estudo propõe integrar, de forma sistêmica, variáveis nutricionais, estruturais e comportamentais que modulam a seletividade alimentar de bovinos confinados, utilizando a análise de agrupamento de dietas como ferramenta de zootecnia de precisão para classificação de dietas e a consequente avaliação de seus efeitos ao longo das fases de adaptação, crescimento e terminação.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho reuniu um conjunto de dados provenientes de quatro experimentos, conduzidos de forma independente entre si, entre os anos de 2020 e 2022 no Centro de Inovação e Pesquisa Campanelli, localizado no município de Altair, estado de São Paulo, Brasil. Este complexo de investigação científica encontra-se situado nas coordenadas geográficas 20° 31' 26" S e 49° 03' 32" O, numa região caracterizada por uma temperatura média anual de 22,9°C e uma precipitação pluviométrica anual de 1.287 mm.

Ressalta-se que todos os procedimentos envolvendo os animais foram conduzidos em estrita observância às diretrizes de bem-estar animal e aprovados pelo Comitê de Ética no Uso de Animais da Universidade Estadual

Paulista (unesp), Campus de Jaboticabal, Jaboticabal, São Paulo, Brasil (Protocolo nº 016339/19).

Para a consolidação e análise conjunta dos dados obtidos, empregou-se a abordagem da meta-análise de dados individuais (*Individual Participant Data Meta-analysis* - IPD), que se destaca por viabilizar a síntese de informações brutas de diferentes estudos preservando a independência estatística entre as unidades experimentais, conforme sugerido por Riley et al. (2010).

Os experimentos foram conduzidos sob um delineamento em blocos casualizados, no qual o critério de agrupamento baseou-se no peso corporal médio inicial dos animais, assegurando uma homogeneidade de tal ordem que o desvio padrão foi considerado desprezível.

Cada experimento foi estruturado em quatro blocos experimentais, sendo cada bloco subdividido em oito baias coletivas, com capacidade para alojar 55 animais, totalizando assim 440 bois em cada bloco. No total, de cada experimento, foram utilizados 1.760 bovinos.

As instalações consistiam em baias não cobertas, com 50 metros de comprimento por 15 metros de largura, e área individual de 13 m² por animal, num total de 750 m² por baia. Cada unidade experimental dispunha de cocho linear, com acesso unilateral, de maneira a assegurar 27 centímetros de espaço por animal; além de um bebedouro, com dimensões de 3,0 metros de comprimento, 0,8 metro de altura e 0,25 metro de largura, e, portanto, com capacidade para armazenar 600 litros de água. Ademais, todas as baias foram dotadas de sombreamento artificial, garantindo-se uma disponibilidade de 2,4 m² de área sombreada por animal.

As estruturas de sombreamento foram edificadas com telhas de aço galvanizado, com espessura de 0,43 mm, largura de 1,08 m e comprimento de 10,0 m, dispostas com espaçamento de 0,15 m entre as peças e sustentadas por um sistema composto por oito cabos de aço, quatro superiores, de 6,35 mm de diâmetro, e quatro inferiores, de 3,17 mm, fixados em colunas de aço carbono com 2,6 mm de espessura e 7,62 cm de diâmetro, ancoradas sobre bases de concreto com 2,0 m de altura. As telhas foram instaladas a 5,0 m do solo, orientadas segundo o eixo norte-sul, com declinação de 18° na direção nordeste-sudoeste, de modo a otimizar a oferta de sombra ao longo do dia.

Os animais utilizados eram da raça Nelore (*Bos taurus indicus*) e cruzados com Aberdeen Angus (*Bos taurus taurus*), na composição $\frac{1}{2}$ Nelore $\times$ $\frac{1}{2}$ Angus. Ressalta-se que a proporção de animais com predominância de genética Nelore apresentou variação entre os experimentos, com valores de 50,9; 64,9; 68,8; 75,9 % nos experimentos 1, 2, 3 e 4, respectivamente.

A idade média dos bovinos foi de 24 meses; e os pesos corpóreos iniciais, após um período de jejum hídrico e alimentar de 16 horas, aferidos no momento da entrada no confinamento, foram de 409,0; 397,7; 357,0 e 393,4 kg para os respectivos experimentos.

O protocolo do período de jejum foi implementado de forma escalonada, respeitando-se intervalos de 15 minutos entre os lotes, com o objetivo de assegurar que todos os animais fossem submetidos à pesagem sob condições rigorosamente padronizadas no dia subsequente.

Após a mensuração dos pesos, os animais foram estratificados em blocos com base no peso corporal individual, utilizando-se uma planilha eletrônica configurada com a função de geração de números aleatórios no Microsoft Excel (*Microsoft Corporation*, Redmond, Washington, EUA).

Também foram excluídos todos os animais que apresentaram variações de peso superiores ao dobro do desvio padrão da média ou quaisquer sinais clínicos de enfermidades, sendo estes substituídos por outros, com as características raciais, peso e idade compatível com o grupo a ser avaliado antes do início do experimento.

Após a seleção inicial, os animais foram submetidos a uma dieta de manutenção, denominada pré-experimento, cujo objetivo principal foi assegurar a adaptação uniforme às condições ambientais das baias e ao manejo proposto. Em seguida, foi introduzida a dieta de adaptação e, sequencialmente, após respeitar os devidos períodos de transição, fornecidas as dietas de crescimento e terminação.

Na Tabela 1 pode ser observada a composição das dietas nos respectivos experimentos, sendo a proporção dos ingredientes ajustada em função de cada fase do confinamento.

A duração das fases de pré-experimento, adaptação, crescimento e terminação variou entre os experimentos, sendo de 14, 3, 10 e 11; de 18, 17, 16

e 19; de 15, 25, 23 e 19; e de 70, 69, 67 e 61 dias para os ensaios 1, 2, 3 e 4, respectivamente.

O manejo alimentar foi ajustado para manter sobras diárias, na matéria seca, de no mínimo 5% do total ofertado. Assim, o consumo de matéria seca foi calculado por baia, a partir da diferença entre a quantidade ofertada e as sobras, sendo posteriormente estimado o consumo médio individual pela divisão do total consumido em função do número de animais alojados na respectiva baia.

As dietas foram preparadas e distribuídas com o auxílio de um vagão misturador montado em caminhão (Brutale, modelo MTB-120CM, capacidade de 16 m³), equipado com balança eletrônica de precisão (± 1 kg), de maneira a garantir a homogeneidade das dietas, mesmo com a presença de volumosos de fibras curtas.

O fornecimento da ração total misturada (RTM) foi realizado em dois tratos diários, divididos igualmente entre as refeições, com distribuição uniforme ao longo da extensão dos cochos, por meio de técnica escalonada, conforme procedimento descrito por Pacheco et al. (2023), de maneira a assegurar acesso equitativo aos animais, a otimização do consumo e a garantia da eficiência do manejo alimentar.

Em intervalos semanais também se realizaram duas coletas distintas da RTM, sendo as amostras destinadas à análise de partículas, utilizando-se o Separador de Partículas de Penn State (PSPS). Assim, seguindo as orientações de Heinrichs e Jones (2022), a primeira coleta foi realizada imediatamente após a distribuição da ração, representando o alimento ofertado no cocho em seu estado inicial. A segunda coleta, por sua vez, foi obtida a partir das sobras remanescentes no cocho ao final do período de alimentação, possibilitando uma avaliação detalhada das características físicas do alimento consumido e do padrão de seleção dos ingredientes pelos animais contidos na sobra.

Tabela 1. Proporção dos ingredientes, expressos na matéria seca, das dietas experimentais, em função das fases do confinamento e experimentos (Exp).

Ingrediente - %	Exp1	Exp 2	Exp 3	Exp 4
Adaptação				
Bagaço de cana cru	21,79	17,90	-	-
Silagem de milho	-	-	39,47	31,62
Silagem de cana	-	-	-	10,00

<i>Snaplage</i> ¹	-	20,86	11,09	-
Resíduo de cervejaria	-	-	-	4,23
<i>Soy pass black</i> ²	-	-	-	4,95
Milho grão úmido	25,43	13,87	12,65	-
Polpa cítrica	25,43	20,47	12,65	20,24
Refinazil ³	-	-	-	5,27
Caroço de algodão	7,23	-	4,30	4,74
Melaço de soja	-	5,71	5,68	10,00
Farelo de algodão 38%	16,67	17,78	10,75	5,80
Núcleo mineral ⁴	3,45	3,42	3,42	3,15
Crescimento				
Bagaço de cana crú	16,97	10,63	-	-
Silagem de milho	-	-	24,86	22,96
Silagem de cana	-	-	-	6,43
<i>Snaplage</i> ¹	-	25,13	11,09	-
Resíduo de cervejaria	-	-	-	4,23
<i>Soy pass black</i> ²	-	-	-	5,24
Milho úmido	30,11	14,76	18,45	6,43
Polpa cítrica	26,37	21,98	18,45	27,28
Refinazil ³	-	-	-	4,55
Melaço de soja	-	5,71	5,68	10,00
Caroço de algodão	7,61	-	8,84	5,05
Farelo de algodão 38%	15,49	16,63	9,22	4,68
Núcleo mineral ⁴	3,45	3,42	3,42	3,15
Terminação				
Bagaço de cana crú	11,05	5,68	-	-
Silagem de milho	-	-	14,19	15,55
Silagem de cana	-	-	-	3,55
<i>Snaplage</i> ¹	-	19,89	11,92	-
Resíduo de cervejaria	-	-	-	4,23
<i>Soy pass black</i> ²	-	-	-	7,20
Milho umido	35,66	19,61	27,96	14,30
Polpa cítrica	28,23	28,83	19,45	30,91
Refinazil ³	-	-	-	4,00
Melaço de soja	-	5,71	5,68	10,00
Caroço de algodão	9,88	-	12,61	7,11
Farelo de algodão 38	9,77	12,88	4,78	-
Gordura Protegida	1,95	3,99	-	-
Núcleo mineral ⁴	3,45	3,42	3,41	3,15

¹*Snaplage*: Silagem de espiga de milho; ²*Soy pass black*: Resíduo de soja queimada;

³Refinazil: resíduo do grão de milho, composto pela parte fibrosa, gérmen, glúten, amido remanescente e frações proteicas solúveis; ⁴Núcleo mineral: 10% Ca, 2,3% P, 5% Na, 1% Mg, 4,5% S na matéria seca.

Essas coletas, no entanto, não foram realizadas individualmente por baia, mas sim por meio de amostras compostas, estruturadas de forma a garantir representatividade para cada grupo experimental originalmente avaliado em cada experimento. Semanalmente, foram coletadas três amostras compostas

distintas por grupo, totalizando doze amostras por semana em cada experimento. Essa estratégia permitiu captar a variabilidade espacial entre as baias, respeitar a organização física do confinamento e assegurar a qualidade e a consistência das análises subsequentes.

Com o banco de dados padronizado, procedeu-se à identificação de padrões nutricionais consistentes entre as dietas das diferentes fases do confinamento, utilizando análise de agrupamento hierárquico. Todas as variáveis bromatológicas inicialmente disponíveis foram consideradas; contudo, aquelas com elevada correlação foram removidas para evitar redundância e distorções na medida de dissimilaridade entre os grupos. Após essa triagem, verificou-se que a energia líquida de ganho (ELg) e a proporção de forragem eram as variáveis mais adequadas para representar diferenças estruturais entre as dietas, permitindo uma separação lógica e coerente dos grupos nutricionais.

A análise final foi conduzida exclusivamente com essas duas variáveis, após normalização dos dados e cálculo das distâncias pela métrica Euclidiana. Os agrupamentos foram definidos pelo método hierárquico de Ward.D2, utilizando o software R, conforme as diretrizes de Ferreira et al. (2020). Constatou-se que a ELg apresentou associação direta com a fase de alimentação, refletindo o aumento progressivo da densidade energética ao longo do confinamento, enquanto a proporção de forragem permitiu distinguir com clareza os grupos dentro de cada fase.

O dendrograma obtido (Figura 1) evidenciou a formação de dois grupos nutricionais em cada fase do confinamento, definidos principalmente pela proporção de forragem: I - Adaptação com Alta Forragem (A-AF) e Baixa Forragem (A-BF); II - Crescimento com Alta Forragem (C-AF) e Baixa Forragem (C-BF); e III - Terminação com Alta Forragem (T-AF) e Baixa Forragem (T-BF). Os grupos classificados como Alta Forragem foram compostos pelos experimentos 3 e 4, enquanto os de Baixa Forragem reuniram os experimentos 1 e 2. A caracterização bromatológica de cada grupo, apresentada na Tabela 2, foi obtida a partir das médias das dietas que os compuseram, evidenciando diferenças sobretudo na proporção de volumosos e nos teores de fibra em detergente neutro fisicamente efetiva (FDNfe).

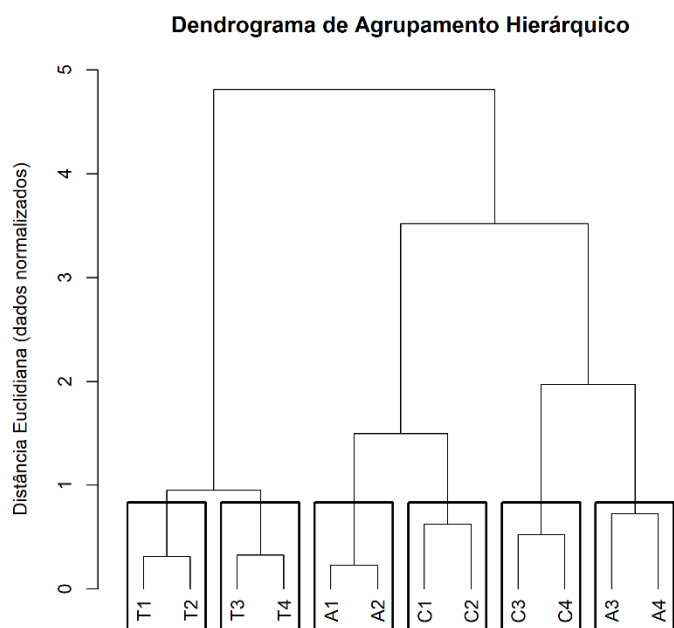


Figura 1. Dendrograma de agrupamento hierárquico representando a similaridade entre as dietas das fases de adaptação, crescimento e terminação, avaliadas nos diferentes experimentos conduzidos. Na identificação das amostras, as letras A, C e T indicam, respectivamente, as Fases de Adaptação, Crescimento e Terminação, enquanto os números 1, 2, 3 e 4 correspondem aos experimentos em que as dietas foram avaliadas.

Através dos dados provenientes da análise do Separador de Partículas de Penn State (PSPS), procedeu-se ao cálculo do índice de seleção (IS) para cada peneira (19, 8, 4 mm e fundo), de cada grupo nutricional dentro de cada fase, utilizando a fórmula proposta por Dias et al. (2018), em que:

$$IS = 100 * (\text{Consumo Observado} / \text{Consumo Referência}) \quad (1)$$

Onde o consumo observado foi determinado a partir da quantidade de RTM ofertada na baia, multiplicada pela proporção de RTM retida na peneira, subtraindo-se o produto da proporção de sobras retidas na peneira pelo peso médio das sobras, rateado por animal. Por sua vez, o consumo de referência correspondeu à quantidade que os animais teriam ingerido em cada peneira caso não houvesse seleção, sendo calculado multiplicando a proporção de RTM retida na peneira pelo peso médio da fração efetivamente consumida pelos animais.

Os valores obtidos para o IS foram estratificados de maneira a facilitar a interpretação dos resultados; assim, índices inferiores a 100% indicaram uma recusa seletiva de partículas específicas presentes na dieta; valores superiores

a 100% evidenciaram um consumo preferencial por determinadas partículas; e valores iguais a 100% refletiram a ausência de seleção, indicando um consumo proporcional às características físicas do material originalmente ofertado.

Tabela 2. Composição bromatológica e proporção de forragem, em função dos distintos grupos de dietas avaliadas.

Variáveis - %	Adaptação ¹		Crescimento ²		Terminação ³	
	A-BF	A-AF	C-BF	C-AF	T-BF	T-AF
MS ⁴	70,00	49,00	71,00	54,50	73,00	61,25
PB ⁵	15,30	15,50	15,30	15,45	14,20	14,75
FDN ⁶	35,65	33,55	31,45	29,75	26,25	25,92
FDNfe ⁷	19,00	21,00	16,00	17,50	12,50	14,75
EE ⁸	2,60	3,80	3,55	4,15	5,70	4,85
CNF ⁹	42,20	42,40	45,65	46,10	49,85	50,38
MM ¹⁰	4,25	4,75	4,05	4,55	4,00	4,10
Forragem	22,97	42,21	17,52	28,79	11,35	18,32
FDN forragem	8,18	14,15	5,52	8,57	2,97	4,76
ELg ¹¹ - Mcal/kg MS	1,03	1,05	1,12	1,19	1,29	1,29

¹ A-BF: Adaptação - Baixa Forragem, A-AF: Adaptação - Alta Forragem; ² C-BF: Crescimento - Baixa Forragem, C-AF: Crescimento - Alta Forragem; e ³ T-BF: Terminação - Baixa Forragem, T-AF: Terminação - Alta Forragem; ⁴ MS: Matéria Seca; ⁵ PB: Proteína Bruta; ⁶ FDN: Fibra em Detergente Neutro; ⁷ FDNfe: Fibra em Detergente Neutro fisicamente efetivo; ⁸ EE: Extrato Etéreo; ⁹ CNF: Carboidratos Não Fibrosos; ¹⁰ MM: Matéria Mineral; e ¹¹ ELg: Energia Líquida de Ganho.

O consumo de ELg foi estimada por meio de modelos matemáticos que integram o peso corpóreo (PC), o ganho de peso diário (GPD) e o consumo de matéria seca (CMS), proporcionando uma análise detalhada e precisa do consumo energético dos animais em diferentes condições experimentais. Assim, primeiramente, a exigência de energia para ganho (Eg) foi calculada para cada baia, em cada grupo nutricional, utilizando a fórmula preconizada pelo NRC (1984):

$$Eg = (0,0493 \times PC^{0,75}) \times GPD^{1,097} \quad (2)$$

Em sequência, a exigência de energia para manutenção (Em) foi obtida com base no modelo proposto por Lofgreen e Garrett (1968), utilizando a equação:

$$Em = 0,077 * PC^{0,75} \quad (3)$$

Com os valores de Eg e Em calculados, procedeu-se à estimativa da energia líquida de manutenção da dieta (ELm), empregando a abordagem quadrática descrita por Zinn e Shen (1998), definida pela fórmula:

$$ELm = (-b - \sqrt{b^2 - 4ac})/2c \quad (4)$$

Em que os coeficientes são definidos como:

$$a = -0,41 * Em \quad (5)$$

$$b = -0,877 * Em + 0,41 * CMS \quad (6)$$

$$c = -0,877 * CMS \quad (7)$$

Por fim, a Elg foi calculada segundo o mesmo modelo, utilizando a equação:

$$ELg = (0,877 \times ELm) - 0,41 \quad (8)$$

De maneira complementar, conforme o modelo proposto por Mertens (1997), a estimativa da fração de FDNfe baseou-se na relação entre o teor de fibra em detergente neutro (FDN) total do alimento e a proporção de partículas retidas em peneiras com abertura superior a 1,18 mm, pressupondo-se que o teor de FDN esteja uniformemente distribuído entre partículas de diferentes tamanhos. Para cada amostra, somou-se a porcentagem de RTM retida nas três peneiras superiores do PSPS e multiplicou-se pelo teor de FDN da dieta, considerando tanto as amostras de dieta ofertada quanto as sobras remanescentes no cocho. Essa metodologia possibilitou uma análise detalhada da eficiência de consumo e seletividade dos animais em relação às partículas fibrosas, destacando o impacto de suas características físicas na ingestão alimentar e nos padrões de consumo observados.

A análise estatística foi realizada por meio do software R, utilizando pacotes especializados, como glmmTMB e emmeans. As variáveis analisadas referiram-se aos grupos de dieta avaliados nas distintas fases do confinamento. Dessa forma, foram examinadas a distribuição percentual da RTM e das sobras em todas as peneiras do PSPS; os índices de seleção por peneira; a Elg; a fração de FDNfe no alimento ofertado e nas sobras; bem como o consumo de matéria seca (CMS).

Inicialmente, os dados foram submetidos a um rigoroso processo de inspeção para identificação de *outliers*, os quais foram removidos respeitando um limite de até 15% das observações em cada variável analisada. A identificação dos *outliers* baseou-se no método de escore Z (Curtis et al., 2016), de modo a assegurar a remoção de valores discrepantes que pudessem comprometer a análise estatística. Essa exclusão visou aprimorar a normalidade

dos dados, avaliada pelo teste de Shapiro-Wilk (Razali e Wah, 2011), e a homogeneidade das variâncias, testada pelo procedimento de Bartlett (1937). No entanto, mesmo após a exclusão dos *outliers*, os pressupostos de normalidade dos resíduos e homogeneidade das variâncias nem sempre foram plenamente atendidos. Tal circunstância justificou a escolha do modelo para abordagem estatística, dada sua robustez frente a distribuições assimétricas.

Ademais, para as análises referentes à granulometria das sobras, os dias em que não foram observadas sobras, ou seja, aqueles em que o consumo foi total, foram excluídos do banco de dados. Essa exclusão assegurou que as porcentagens refletissem de maneira fidedigna a distribuição de partículas entre as peneiras, evitando distorções nos resultados.

Assim, os dados foram analisados mediante a aplicação de Modelos Lineares Generalizados Mistos ajustados com o pacote glmmTMB (Brooks et al., 2017). Para tal, especificou-se a família Gamma com função de ligação logarítmica, a qual se mostra particularmente adequada para variáveis contínuas assimétricas. No caso das variáveis relacionadas à distribuição percentual das peneiras, FDNfe e índices de seleção, o modelo geral incluiu o fator de categoria de peso, conforme descrito na fórmula:

$$Y = \beta_0 + CP + GN + (1|BLOCO) + e \quad (9)$$

Onde:

Y = Variável dependente específica da análise (índices de seleção por peneira do PSPS; distribuição da RTM e da sobra por peneira do PSPS; ELg; CMS; FDNfe da RTM ofertada e da sobra); β_0 = Intercepto do modelo, representando o valor médio esperado da variável dependente na ausência dos efeitos fixos e aleatórios; CP = Efeito fixo da categoria de peso inicial, que controla as diferenças associadas ao peso corporal dos animais; GN = Efeito fixo do grupo nutricional, que avalia as diferenças nas respostas entre grupos específicos, considerando as fases de adaptação, crescimento e terminação; BLOCO = Efeito aleatório que considera as fontes de variação relacionadas ao experimento, aos tratamentos originalmente aplicados e às unidades amostradas; e = corresponde ao erro aleatório associado a cada observação.

Para as variáveis relacionadas à ELg e ao CMS, o fator categoria de peso foi removido do modelo, e interações adicionais entre os fatores foram incluídas para assegurar a convergência do modelo.

A significância dos fatores fixos foi avaliada por meio de análises de variância (ANOVA) de Tipo III, empregando o teste de qui-quadrado. As médias ajustadas para cada nível dos grupos nutricionais foram calculadas utilizando o pacote emmeans, aplicando-se a correção de Sidak para múltiplas comparações. As diferenças estatisticamente significativas entre os grupos foram identificadas por letras de agrupamento, enquanto as médias ajustadas foram transformadas de volta à escala original por meio de exponenciação, permitindo uma interpretação direta e coerente dos resultados no contexto original dos dados.

Por último, na distribuição percentual em cada peneira do PSPS, tanto do alimento ofertado quanto das sobras, foi realizada a comparação das porcentagens retidas em cada peneira dentro de cada grupo nutricional. Para tanto, os dados foram reorganizados, e a peneira foi incluída como um fator fixo adicional no modelo estatístico. Esse procedimento permitiu uma análise das características físicas das partículas, proporcionando a compreensão das peculiaridades de cada grupo nutricional avaliado.

3. RESULTADOS

A distribuição granulométrica das dietas, avaliada pelo Separador de Partículas de Penn State (PSPS), apresentou diferenças marcantes entre os grupos nutricionais ao longo das fases do confinamento (Tabela 3). Na fração ofertada, a retenção de partículas longas na peneira de 19 mm foi de 9,09, 10,11 e 6,94% nos grupos A-BF, C-BF e T-BF, respectivamente, em contraste com 2,10, 3,33 e 2,38% nos grupos A-AF, C-AF e T-AF ($P < 0,001$). A peneira de 8 mm concentrou maior proporção de partículas nas dietas com maior participação de forragem, com valores de 48,10, 48,30 e 44,30% nos grupos A-AF, C-AF e T-AF, frente a 26,60, 23,50 e 28,40% nos grupos A-BF, C-BF e T-BF ($P < 0,001$).

Na peneira de 4 mm, as diferenças variaram de acordo com a fase do confinamento: na adaptação, as proporções foram de 25,20% no A-BF e 24,40%

no A-AF ($P = 0,293$); no crescimento, de 26,30% no C-BF e 22,90% no C-AF ($P < 0,001$); e, na terminação, de 26,40% no T-BF e 28,90% no T-AF ($P < 0,001$). A fração inferior (fundo) foi mais expressiva nos grupos de menor participação de forragem, com 42,90, 39,10 e 37,50% nos grupos A-BF, C-BF e T-BF, respectivamente, em comparação a 25,10, 25,20 e 23,90% nos grupos A-AF, C-AF e T-AF ($P < 0,001$). Em síntese, os grupos com maior participação de forragem concentraram mais partículas na faixa intermediária (8 mm), apresentaram menor proporção de partículas finas (fundo) e comportamento variável na fração de 4 mm, enquanto os grupos com menor aporte volumoso retiveram mais partículas de pequeno tamanho, resultando em menor diversidade granulométrica.

Nas sobras, a retenção de partículas longas na peneira de 19 mm foi de 12,86, 9,50 e 1,57% nos grupos A-BF, C-BF e T-BF, respectivamente, enquanto os grupos A-AF, C-AF e T-AF apresentaram valores de 1,65, 2,08 e 0,91% ($P < 0,001$). Na peneira de 8 mm, a retenção foi de 21,60, 20,30 e 21,80% nos grupos A-BF, C-BF e T-BF, frente a 37,20, 38,90 e 34,30% nos grupos A-AF, C-AF e T-AF ($P < 0,001$). Para a peneira de 4 mm, os valores foram de 21,70% no A-BF e 26,60% no A-AF na adaptação ($P < 0,001$); de 24,40% no C-BF e 25,00% no C-AF no crescimento ($P = 0,291$); e de 28,80% no T-BF e 29,80% no T-AF na terminação ($P = 0,007$). A fração inferior apresentou 37,20, 42,10 e 46,70% nos grupos A-BF, C-BF e T-BF, respectivamente, contra 32,40, 32,30 e 34,60% nos grupos A-AF, C-AF e T-AF ($P < 0,001$). Dessa forma, as sobras dos grupos com maior inclusão de volumosos apresentaram menor proporção de partículas longas e maior presença de partículas intermediárias, enquanto as dietas de menor participação forrageira acumularam mais partículas finas.

Tabela 3. Percentual de ração retida em cada peneira do Separador de Partículas de Penn State (PSPS), nas frações ofertada e sobra, das dietas de Adaptação, Crescimento e Terminação.

Parâmetros	A-BF ¹	A-AF ²	P-valor	C-BF ³	C-AF ⁴	P-valor	T-BF ⁵	T-AF ⁶	P-valor
Ração ofertada, %									
19 mm	9,09 ± 1,22	2,10 ± 0,21	<0,001	10,11 ± 0,41	3,33 ± 0,14	<0,001	6,94 ± 0,54	2,38 ± 0,19	<0,001
8 mm	26,60 ± 0,59	48,10 ± 0,74	<0,001	23,50 ± 0,52	48,30 ± 1,15	<0,001	28,40 ± 0,38	44,30 ± 0,62	<0,001
4 mm	25,20 ± 0,76	24,40 ± 0,45	0,293	26,30 ± 0,42	22,90 ± 0,69	<0,001	26,40 ± 0,24	28,90 ± 0,27	<0,001
Fundo	42,90 ± 1,33	25,10 ± 0,53	<0,001	39,10 ± 0,65	25,20 ± 0,44	<0,001	37,50 ± 0,56	23,90 ± 0,36	<0,001
P-valor	<0,001	<0,001		<0,001	<0,001		<0,001	<0,001	
Ração sobra, %									
19 mm	12,86 ± 4,14	1,65 ± 0,31	<0,001	9,50 ± 1,41	2,08 ± 0,32	<0,001	1,57 ± 0,10	0,91 ± 0,06	<0,001
8 mm	21,60 ± 0,94	37,20 ± 0,99	<0,001	20,30 ± 0,91	38,90 ± 1,68	<0,001	21,80 ± 0,46	34,30 ± 0,77	<0,001
4 mm	21,70 ± 0,80	26,60 ± 0,61	<0,001	24,40 ± 0,42	25,00 ± 0,43	0,291	28,80 ± 0,27	29,80 ± 0,25	0,007
Fundo	37,20 ± 2,07	32,40 ± 1,09	0,016	42,10 ± 0,93	32,30 ± 0,69	<0,001	46,70 ± 0,72	34,60 ± 0,58	<0,001
P-valor	<0,001	<0,001		<0,001	<0,001		<0,001	<0,001	

¹ A-BF = Adaptação - Baixa Forragem. ² A-AF = Adaptação - Alta Forragem. ³ C-BF = Crescimento - Baixa Forragem. ⁴ C-AF = Crescimento - Alta Forragem.

⁵ T-BF = Terminação - Baixa Forragem. ⁶ T-AF = Terminação - Alta Forragem. Valores médios de n amostral para os grupos A-BF, A-AF, C-BF, C-AF, T-BF, T-AF: 15, 33, 63, 42, 161, 123, respectivamente. P: nível de significância (P < 0,05).

Os índices de seleção (IS) evidenciaram padrões distintos entre os grupos nutricionais (Tabela 4). Na adaptação, as partículas longas e médias apresentaram IS de 100,90 e 100,36% no grupo A-AF, contra 99,30 e 99,96% no A-BF, respectivamente ($P \leq 0,026$). No crescimento, as mesmas frações apresentaram IS de 101,30 e 100,80% no C-AF, frente a 100,20% em ambas no C-BF ($P < 0,001$). Na terminação, os valores foram semelhantes, com IS de 101,90 e 100,60% no T-BF e 101,80 e 100,70% no T-AF ($P \geq 0,271$). Para partículas de 4 mm, o A-BF apresentou IS de 100,25% e o C-BF de 100,06%, indicando consumo preferencial, enquanto A-AF e C-AF apresentaram recusa relativa, com IS de 99,81 e 99,37%, respectivamente ($P < 0,001$). Na terminação, as diferenças foram menores, mas observada recusa mais acentuada no T-BF (IS = 99,65%) em relação ao T-AF (IS = 99,90%; $P < 0,001$). Na fração inferior, o A-BF apresentou IS de 100,26%, enquanto C-BF e T-BF mostraram recusa moderada, com IS de 99,97 e 99,34%, respectivamente; nos grupos de maior participação de volumosos, a recusa foi mais pronunciada, com IS de 99,16, 98,80 e 98,63% nos grupos A-AF, C-AF e T-AF ($P < 0,001$). Esses resultados indicam que dietas com maior inclusão de volumosos favoreceram a seleção positiva de partículas longas e médias nas fases de adaptação e crescimento, enquanto grupos com menor participação de forragem apresentaram consumo proporcional ou preferencial de partículas pequenas durante a adaptação, reduzindo tal comportamento nas fases subsequentes. Na terminação, as diferenças de seletividade para partículas longas e médias foram atenuadas, resultando em consumo mais uniforme entre os grupos.

Os teores de fibra em detergente neutro fisicamente efetiva (FDNfe) da dieta ofertada foram de 25,00, 23,20 e 19,80% nos grupos A-AF, C-AF e T-AF, respectivamente, frente a 20,20, 19,40 e 16,50% nos grupos A-BF, C-BF e T-BF ($P < 0,001$). Nas sobras, os valores foram de 22,60, 20,20 e 17,00% nos grupos A-AF, C-AF e T-AF, e de 21,90, 18,30 e 14,00% nos grupos A-BF, C-BF e T-BF ($P < 0,001$), exceto na adaptação, quando A-BF e A-AF não diferiram (21,90 e 22,60%; $P = 0,432$). Comparando os valores ofertados e residuais dentro de cada grupo, observou-se aumento do FDNfe apenas no A-BF (21,90 contra 20,20%; $P < 0,001$), sugerindo rejeição de partículas mais estruturais, enquanto nos

demais grupos (A-AF, C-BF, C-AF, T-BF e T-AF) houve redução, evidenciando maior aproveitamento da fração fibrosa.

O consumo de energia líquida de ganho (ELg) apresentou respectivamente valores de 1,06 e 1,04 Mcal/kg MS nos grupos A-BF e A-AF na adaptação ($P = 0,021$); de 1,07 e 1,09 Mcal/kg MS nos C-BF e C-AF na fase de crescimento ($P = 0,007$); e de 1,33 e 1,43 Mcal/kg MS nos T-BF e T-AF na terminação ($P < 0,001$). O consumo de matéria seca (CMS) foi de 11,00 e 11,80 kg nos grupos A-BF e A-AF na adaptação ($P < 0,001$); de 11,70 e 12,20 kg no C-BF e C-AF no crescimento ($P < 0,001$); e de 10,70 e 10,80 kg no T-BF e T-AF na terminação ($P = 0,395$). Esses resultados indicam que a maior inclusão de volumosos promoveu aumento do consumo de matéria seca nas fases iniciais do confinamento. Já na terminação, embora a ingestão de matéria seca tenha sido semelhante entre os grupos, a maior proporção de volumosos possibilitou maior ingestão de energia líquida de ganho.

Tabela 4. Índice de seleção (IS), de acordo com as respectivas peneiras do Separador de Partículas de Penn State (PSPS); percentagem de fibra em detergente neutro fisicamente efetiva (FDNfe) na ração ofertada e sobra; bem como os consumos de energia líquida de ganho (ELg) e de matéria seca (CMS), nas dietas de Adaptação, Crescimento e Terminação.

Parâmetros	A-BF ¹	A-AF ²	P-valor	C-BF ³	C-AF ⁴	P-valor	T-BF ⁵	T-AF ⁶	P-valor
IS - %									
19 mm	99,30 ± 0,71	100,90 ± 0,45	0,026	100,20 ± 0,20	101,30 ± 0,21	<0,001	101,90 ± 0,21	101,80 ± 0,21	0,853
8 mm	99,96 ± 0,12	100,36 ± 0,07	0,001	100,20 ± 0,09	100,80 ± 0,09	<0,001	100,60 ± 0,08	100,70 ± 0,08	0,271
4 mm	100,25 ± 0,11	99,81 ± 0,06	<0,001	100,06 ± 0,08	99,37 ± 0,08	<0,001	99,65 ± 0,05	99,90 ± 0,05	<0,001
Fundo	100,26 ± 0,26	99,16 ± 0,16	<0,001	99,97 ± 0,13	98,80 ± 0,14	<0,001	99,34 ± 0,11	98,63 ± 0,11	<0,001
FDNfe - %									
Ofertado	20,20 ± 0,41	25,00 ± 0,35	<0,001	19,40 ± 0,42	23,20 ± 0,49	<0,001	16,50 ± 0,27	19,80 ± 0,32	<0,001
Sobra	21,90 ± 0,79	22,60 ± 0,55	0,432	18,30 ± 0,38	20,20 ± 0,43	<0,001	14,00 ± 0,28	17,00 ± 0,34	<0,001
P-valor	<0,001	<0,001		<0,001	<0,001		<0,001	<0,001	
ELg -									
Mcal/kgMS	1,06 ± 0,01	1,04 ± 0,01	0,021	1,07 ± 0,01	1,09 ± 0,01	0,007	1,33 ± 0,01	1,43 ± 0,01	<0,001
CMS - kg									
	11,00 ± 0,11	11,80 ± 0,08	<0,001	11,70 ± 0,051	12,20 ± 0,07	<0,001	10,70 ± 0,04	10,80 ± 0,04	0,395

¹ A-BF = Adaptação - Baixa Forragem. ² A-AF = Adaptação - Alta Forragem. ³ C-BF = Crescimento - Baixa Forragem. ⁴ C-AF = Crescimento - Alta Forragem.

⁵ T-BF = Terminação - Baixa Forragem. ⁶ T-AF = Terminação - Alta Forragem. Valores médios de n amostral para os grupos A-BF, A-AF, C-BF, C-AF, T-BF, T-AF: 15, 33, 64, 43, 161, 121, respectivamente. P: nível de significância (P < 0,05).

4. DISCUSSÃO

A análise integrada dos grupos nutricionais obtidos pelo agrupamento hierárquico, mostrou ser uma ferramenta capaz de organizar dados com base na dissimilaridade entre dietas por meio da distância euclidiana; e ainda evidenciou contrastes consistentes na estrutura física das formulações, nos padrões de seletividade alimentar e nas respostas ingestivas dos bovinos confinados. Assim, essa abordagem possibilitou agrupar dados de diferentes experimentos em grupos representativos, e revelou como mudanças na composição dos ingredientes e no teor de volumoso podem alterar o comportamento ingestivo e a eficiência de utilização da dieta.

Em sistemas de confinamento comercial, sujeitos a constantes ajustes na formulação das dietas em função das frequentes oscilações no preço dos insumos, compreender esses impactos é fundamental para evitar perdas de desempenho e elevação de custos (Flythe e Harlow, 2019). Nesse contexto, ferramentas analíticas associadas à zootecnia de precisão, como o processamento avançado de dados e o monitoramento digital, permitem identificar padrões de resposta e apoiar a tomada de decisão, representando um avanço na gestão nutricional de sistemas intensivos (Berckmans, 2017; Neethirajan, 2023).

No presente estudo, observou-se que dietas com maior inclusão de volumosos e maior diversidade de partículas fisicamente efetivas (A-AF, C-AF, T-AF) apresentaram maior concentração de material retido na peneira intermediária de 8 mm, menor acúmulo de partículas finas no fundo do separador e, conseqüentemente, maior teor de FDNfe. Em contraste, os grupos com menor participação de volumosos (A-BF, C-BF, T-BF) apresentaram uma dieta com estrutura mais fragmentada, com predominância de partículas finas e, em alguns casos, partículas longas associadas ao uso de volumosos de baixa palatabilidade, como o bagaço de cana cru. Essa característica, descrita por Rabelo et al. (2008), relaciona-se à limitada atratividade desse ingrediente ao consumo, atribuída à sua baixa digestibilidade e reduzido valor nutritivo. Essas diferenças físicas influenciaram diretamente os padrões de seletividade alimentar. Assim, nas fases de adaptação e crescimento, as dietas estruturalmente mais complexas estimularam a ingestão seletiva de partículas

maiores (peneiras de 19 e 8 mm), enquanto as dietas fragmentadas resultaram em consumo proporcional ou leve preferência por partículas finas. Na terminação, entretanto, tais diferenças foram atenuadas, refletindo a menor diversidade estrutural típica de dietas finais de confinamento. Esse padrão tem implicações funcionais importantes, pois a presença de partículas efetivas promove uma elevação no tempo de mastigação, maior produção de saliva e melhor estabilidade ruminal (Maulfair et al., 2011; Zebeli et al., 2012), enquanto dietas excessivamente fragmentadas reduzem a estimulação física do rúmen e aumentam o risco de distúrbios fermentativos, como a acidose subclínica (Heering et al., 2023). Desta forma, o agrupamento hierárquico demonstrou ser uma análise essencial para evidenciar como alterações relativamente pequenas na formulação de dietas podem modificar tanto o comportamento de seleção quanto a dinâmica fermentativa dos bovinos; se tornando, portanto, uma ferramenta prática para avaliação de estratégias nutricionais em confinamento.

A relação entre comportamento seletivo, estrutura física e palatabilidade dos ingredientes tem sido amplamente documentada. Custódio et al. (2016) verificaram maior seletividade por partículas longas (>19 mm) em dietas com silagem de milho, enquanto Leonardi e Armentano (2003) observaram rejeição dessas partículas quando o volumoso utilizado era feno de alfafa de maior comprimento, com os animais priorizando frações menores. De forma convergente, Minami et al. (2021) relataram que dietas ricas em polpa cítrica, ingrediente presente em destaque nos grupos de menor inclusão de volumoso, reduziram a ingestão de matéria seca e o tempo de ruminação, além de aumentarem o tempo de permanência em decúbito, comportamento associado ao risco de acidose subclínica. Essas evidências reforçam o padrão observado nesse estudo, no qual os grupos com predominância de partículas finas e menor FDNfe apresentaram um consumo direcionado a essas frações, comportamento este funcionalmente relacionado à maior densidade energética, porém com um menor estímulo físico à ruminação.

A presença de partículas longas, embora fundamental para a efetividade física da fibra, não garante maior atratividade ao consumo quando associada a ingredientes de baixa palatabilidade e digestibilidade, como o bagaço de cana cru (Molavian et al., 2020; Singer e Marwan, 2019). Nos grupos com esse

ingrediente como principal volumoso, verificou-se rejeição parcial das partículas mais grossas, resultado compatível com o relato de Rabelo et al. (2008), segundo os quais volumosos de baixa qualidade nutricional tendem a ser recusados, mesmo quando representam a principal fonte de fibra efetiva da dieta. Esse achado reforça a importância de considerar simultaneamente a estrutura física e a qualidade nutricional dos ingredientes, pois a simples presença de partículas longas não garante o seu consumo e, portando, essas dietas não indicam, necessariamente, uma melhor estabilidade fermentativa ou um desempenho mais eficiente dos animais.

Por outro lado, a análise da FDNfe na fração residual mostrou que dietas mais estruturadas apresentaram, em geral, um melhor aproveitamento da fibra fisicamente efetiva, com redução dos valores de FDNfe nas sobras em relação à dieta ofertada. A única exceção ocorreu na fase de adaptação com o grupo de baixa forragem, no qual houve aumento do FDNfe residual, indicando rejeição parcial das partículas estruturantes, comportamento atribuído ao uso do bagaço de cana cru como principal fonte de volumoso. Nos demais grupos e fases, a redução do FDNfe residual indicou consumo preferencial da fração fibrosa efetiva. Esse padrão é coerente com os achados de Pereira et al. (2023), que relataram melhor aproveitamento da fibra e menor resposta inflamatória sistêmica em animais alimentados com dietas contendo um maior teor de fibra fisicamente efetiva, com impacto positivo na estabilidade ruminal e na motilidade digestiva. De forma complementar, Zhou et al. (2022), avaliando caprinos em crescimento, observaram que a digestibilidade dos nutrientes foi maior em níveis intermediários de FDNfe, porém reduziu-se quando os teores eram muito baixos ou excessivamente altos, destacando que não apenas a quantidade, mas também a qualidade física da fibra exerce papel determinante na eficiência digestiva.

Sob a perspectiva do consumo, observou-se que os grupos com maior inclusão de volumosos (A-AF e C-AF) apresentaram uma maior ingestão de matéria seca (CMS), reflexo este esperado, devido a menor densidade calórica, enquanto grupos com menor inclusão de forragem, apresentaram uma ingestão proporcional ou preferencial de partículas finas com maior densidade energética, com consequente efeitos sobre o consumo de energia líquida de ganho (ELg). Esse resultado está coerente ao relatado por Oliveira et al. (2021), segundo os

quais dietas mais energéticas permitem compensar reduções no consumo volumétrico, desde que respeitados os limites fisiológicos do ambiente ruminal. De forma convergente, Izadbakhsh et al. (2024) demonstraram que dietas com menor granulometria e teor moderado de fibra favorecem o ganho de peso em bezerras, mesmo sob estresse térmico; e por Shi et al., (2023) ao evidenciarem que a elevação da fibra estrutural aumenta o tempo de ingestão e de ruminação, mas reduz o consumo de matéria seca, mostrando assim um efeito limitante de dietas mais fibrosas sobre o consumo voluntário de alimentos.

Na fase de terminação, observou-se um padrão seletivo mais uniforme entre os grupos avaliados, com atenuação das diferenças registradas nas fases iniciais. Essa convergência pode ser atribuída à menor diversidade estrutural típica de dietas de terminação, altamente energéticas e com baixo teor de volumosos. Resultados similares também foram relatados por Dykier et al. (2020).

Neste trabalho, identificou-se ainda diferenças funcionais sutis, tendo ambos os grupos, AF e BF, rejeitado as frações finas da dieta, sendo essa rejeição mais acentuada no grupo T-AF. Esse comportamento coincidiu com maior consumo de energia líquida de ganho (1,43 e 1,33 Mcal/kg MS para T-AF e T-BF, respectivamente), mesmo diante de um consumo de matéria seca semelhante entre os grupos (10,8 e 10,7 kg/dia, respectivamente). Esses resultados corroboram os achados de Niwa et al. (2023), que demonstraram que pequenas variações no aporte de fibra efetiva podem preservar a estabilidade fermentativa e o desempenho em dietas de alta densidade energética.

De modo geral, os dados obtidos reforçam que a seletividade alimentar é influenciada não apenas pela composição química da dieta, mas também pela sua estrutura física e pela palatabilidade dos ingredientes. Alterações relativamente pequenas na formulação, como a substituição de uma forragem por um subproduto fibroso ou a modificação no processamento de ingredientes, podem alterar o padrão de ingestão e impactar a eficiência digestiva e o desempenho.

Ressalta-se que o uso do agrupamento hierárquico permitiu identificar padrões expressivos de comportamento alimentar, ao reunir informações provenientes de diferentes experimentos e integrar dados de distintos contextos produtivos. Embora, neste estudo, essa ferramenta tenha sido aplicada de forma

descritiva, para organizar dietas com base em suas características bromatológicas e físicas, seus resultados demonstram potencial para aplicações mais amplas dentro da zootecnia de precisão. Ao identificar grupos de dietas que compartilham composição semelhante e apresentam respostas consistentes de seletividade e IS, cria-se uma base de referência que pode ser utilizada para antecipar o comportamento dos animais frente a novas formulações. Em um confinamento comercial, perfis previamente caracterizados poderiam ser comparados com dietas atuais e, ao se observarem semelhanças com grupos associados a menor FDN_{fe}, maior seletividade ou risco de instabilidade ruminal, ajustes preventivos poderiam ser adotados antes que ocorram perdas. Nesse contexto, a integração de valores de referência já descritos na literatura, como limites críticos de FDN_{fe}, distribuição de partículas no PSPS e faixas de IS relacionadas a distúrbios fermentativos, permitiria que o agrupamento hierárquico evoluísse de uma ferramenta de análise para um apoio efetivo à tomada de decisão nutricional, contribuindo para sistemas mais eficientes, seguros e economicamente viáveis.

5. CONCLUSÃO

A seletividade alimentar de bovinos confinados mostrou-se dependente da estrutura física das dietas, influenciada pela granulometria e pelo teor de FDN fisicamente efetiva. Nas fases de adaptação e crescimento, as dietas mais volumosas favoreceram o aproveitamento da fibra e a ingestão de partículas maiores, enquanto dietas mais concentradas resultaram num consumo preferencial de partículas finas. Na terminação, os comportamentos seletivos foram mais uniformes, exceto no grupo T-AF, que manteve maior rejeição das partículas finas. Desta forma, as diferentes dietas refletiram no comportamento ingestivo dos animais, tendo as volumosas elevado o consumo de matéria seca e as concentradas garantido a maior densidade energética. Confirma-se, portanto, que uso do agrupamento hierárquico é uma ferramenta eficiente na zootecnia de precisão, pois consegue integrar de maneira precisa dados de diferentes experimentos e identificar padrões comportamentais suficientes para subsidiar estratégias nutricionais seguras, eficientes e economicamente viáveis em confinamento.

6. REFERÊNCIAS

- ABIEC – Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne, 2024. Beef Report 2024: perfil da pecuária no Brasil. ABIEC, São Paulo. <https://www.abiec.com.br/publicacoes/beef-report-2024-perfil-da-pecuaria-no-brasil/>.
- ABRAFRIGO – Associação Brasileira de Frigoríficos, 2023. Clipping da ABRAFRIGO nº 2010 de 29 de junho de 2023. <https://www.abrafrigo.com.br/index.php/2023/06/29/clipping-da-abrafrigo-no-2010-de-29-de-junho-de-2023/>.
- Bartlett, M.S., 1937. Properties of sufficiency and statistical tests. Proc. R. Soc. Lond. Ser. A Math. Phys. Sci. 160, 268–282. <https://doi.org/10.1098/rspa.1937.0109>.
- Beauchemin, K.A., Yang, W.Z., Penner, G.B., 2006. Ruminal acidosis in dairy cows: balancing effective fiber with starch availability. Proc. Pac. Northwest Anim. Nutr. Conf., Seattle, WA, 43–59. https://www.pnwanc.org/Portals/0/SiteContent/Documents/Proceedings/2006_01_ruminal_acidosis_in_dairy_cows.pdf.
- Berckmans, D., 2017. General introduction to precision livestock farming. Anim. Front. 7, 6–11. <https://doi.org/10.2527/af.2017.0102>.
- Brooks, M.E., Kristensen, K., van Benthem, K.J., Magnusson, A., Berg, C.W., Nielsen, A., Skaug, H.J., Maechler, M., Bolker, B.M., 2017. glmmTMB balances speed and flexibility among packages for zero-inflated generalized linear mixed modeling. R J. 9, 378–400. <https://journal.r-project.org/archive/2017/RJ-2017-066/index.html>.
- Curtis, A.E., Smith, T.A., Zyganshin, B.A., Elefteriades, J.A., 2016. The mystery of the Z-score. Aorta 4, 124–130. <https://doi.org/10.12945/j.aorta.2016.16.014>.
- Custódio, S.A.S., Claudio, F.L., Alves, E.M., Calgaro Júnior, G., Paim, T.P., Carvalho, E.R., 2016. Feed sorting of beef cattle in a feedlot fed different forages and housed in individual or collective pens. J. Anim. Behav. Biometeorol. 4, 55–64. <https://www.researchgate.net/publication/301274039>.
- Dias, J.D.L., Lima, N.V., Campos, M.M., et al., 2018. Yeast culture increased plasma niacin concentration, evaporative heat loss, and feed efficiency of dairy

cows in a hot environment. J. Dairy Sci. 101.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030218303151>.

Dykier, K.C., Oltjen, J.W., Robinson, P.H., Sainz, R.D., 2020. Effects of finishing diet sorting and digestibility on performance and feed efficiency in beef steers. Anim. 14, 59–65. <https://doi.org/10.1017/S1751731119001988>.

Ferreira, R.R.M., Paim, F.A.P., Rodrigues, V.G.S., Castro, G.S.A., 2020. Análise de cluster não supervisionado em R: agrupamento hierárquico. Embrapa Territorial, Campinas, 43 p. <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1126478/1/5360.pdf>.

Flythe, M.D., Harlow, B.E., 2019. Effects of hops (*Humulus lupulus* L.) beta-acids on short chain fatty acid production from complex carbohydrates by rumen microbiota. Adv. Microbiol. 9, 983–992. <https://doi.org/10.4236/aim.2019.912063>.

Grant, R.J., 2023. Symposium review: Physical characterization of feeds and development of the physically effective fiber system. J. Dairy Sci. 106, 5080–5096. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-22419>.

Heering, R., Baumont, R., Selje-Aßmann, N., Dickhoefer, U., 2023. Effect of physically effective fibre on chewing behaviour, ruminal fermentation, digesta passage and protein metabolism of dairy cows. J. Agric. Sci. 161, 720–733. <https://doi.org/10.1017/S0021859623000539>.

Heinrichs, J., Jones, C.M., 2022. Penn state particle separator: The forage and TMR particle separator was designed to help in determining the correct forage particle length needed to improve ruminant nutrition. Penn State Extension, College of Agricultural Sciences, The Pennsylvania State University.

Heinrichs, J., Kononoff, P., 2002. Evaluating particle size of forages and TMRs using the new Penn State Forage Particle Separator. https://www.researchgate.net/publication/292446593_Evaluating_particle_size_of_forages_and_TMRs_using_the_new_Penn_State_Forage_Particle_Separator.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2023. Pesquisa da Pecuária Municipal 2023: efetivo do rebanho bovino nacional. IBGE, Rio de Janeiro. <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/3939>.

- Izadbakhsh, M.-H., Hashemzadeh, F., Alikhani, M., Ghorbani, G.-R., Khorvash, M., Heidari, M., Ghaffari, M.H., Ahmadi, F., 2024. Effects of dietary fiber level and forage particle size on growth, nutrient digestion, ruminal fermentation, and behavior of weaned Holstein calves under heat stress. *Animals* 14, 275. <https://doi.org/10.3390/ani14020275>.
- Kleen, J.L., Guatteo, R., 2023. Precision Livestock Farming: What does it contain and what are the perspectives? *Animals*. 13, 779. <https://doi.org/10.3390/ani13050779>.
- Leonardi, C., Armentano, L.E., 2003. Effect of quantity, quality, and length of alfalfa hay on selective consumption by dairy cows. *J. Dairy Sci.* 86, 557–564. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73634-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73634-0).
- Lofgreen, G.P., Garrett, W.N., 1968. A system for expressing net energy requirements and feed values for growing and finishing beef cattle. *J. Anim. Sci.* 27, 793–806. <https://doi.org/10.2527/jas1968.273793x>.
- Matzhold, C., Schodl, K., Klimek, P., Steininger, F., Egger-Danner, C., 2024. A key-feature-based clustering approach to assess the impact of technology integration on cow health in Austrian dairy farms. *Front. Anim. Sci.* 5, 1421299. <https://doi.org/10.3389/fanim.2024.1421299>.
- Maulfair, D.D., Fustini, M., Heinrichs, A.J., 2011. Effect of varying total mixed ration particle size on rumen digesta and fecal particle size and digestibility in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 94, 3527–3536. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030211003481>.
- Mertens, D.R., 1997. Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 80, 1463–1481. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(97\)76075-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(97)76075-2).
- Millen, D.D., Pacheco, R.D.L., Cabral, L.S., Cursino, L.L., Watanabe, D.H.M., Rigueiro, A.L.N., 2016. Ruminal acidosis. In: Millen, D.D., De Beni Arrigoni, M., Lauritano Pacheco, R.D. (Eds.), *Rumenology*. Springer, Cham, pp. 103–122. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-30533-2_5.
- Miller-Cushon, E.K., DeVries, T.J., 2017. Feed sorting in dairy cattle: causes, consequences, and management. *J. Dairy Sci.* 100. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030216309201>.

- Minami, N.S., Sousa, R.S., Oliveira, F.L.C., Dias, M.R.B., Cassiano, D.A., Mori, C.S., Minervino, A.H.H., Ortolani, E.L., 2021. Subacute ruminal acidosis in zebu cattle: Clinical and behavioral aspects. *Animals* 11, 1–14. <https://doi.org/10.3390/ani11010021>.
- Molavian, M., Ghorbani, G.R., Rafiee, H., Beauchemin, K.A., 2020. Substitution of wheat straw with sugarcane bagasse in low-forage diets fed to mid-lactation dairy cows: Milk production, digestibility, and chewing behavior. *J. Dairy Sci.* 103, 8034–8047. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18499>.
- NRC – National Research Council, 1984. Nutrient requirements of beef cattle, sixth ed. National Academy Press, Washington, D.C.
- Neethirajan, S., 2023. The significance and ethics of digital livestock farming. *Preprints* 1, 1–18. <https://doi.org/10.20944/preprints202302.0473.v1>.
- Niwa, M.V.G., Santos, F.A.P., Ferreira, L.S., et al., 2023. Effect of physically effective neutral detergent fiber on nutrient intake and digestibility, ruminal and blood parameters, and ingestive behavior of confined beef cattle. *Trop. Anim. Health Prod.* 55, 224. <https://doi.org/10.1007/s11250-023-03633-0>.
- Oliveira, L.M., Santos, R.T., Rodrigues, M.S., Santana, M.M., Wander, A.E., Carvalho, E.R., 2021. Impacto da alimentação de bovinos de corte terminados em confinamento: variáveis médias e marginais. *Custos e @gronegócio On Line* 17, 28–46. <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1137333/1/ca-2021.pdf>.
- Pacheco, R.D.L., Gusmão, J.O., Moura, G.A., Capelari, M., Greco, L., Carvalho, J.C.F., Cervieri, R.C., Castro, P.A., Beserra, V.A., Campanelli, V.P.C., Cabral, L.S., Carvalho, L.B., Lanna, D.P.D., Chiquitelli Neto, M., Galyean, M., Maia, A.S.C., 2023. Lysolecithin-derived feed additive improves feedlot performance, carcass characteristics, and muscle fatty acid profile of *Bos indicus*-influenced cattle fed in a tropical environment. *Front. Vet. Sci.* 10, 1041479. <https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1041479>.
- Pereira, M.C.S., Beauchemin, K.A., McAllister, T.A., Yang, W.Z., Wood, K.M., Penner, G.B., 2023. Effect of physically effective neutral detergent fiber and undigested neutral detergent fiber on eating behavior, ruminal fermentation

- and motility, barrier function, blood metabolites, and total tract digestibility in finishing cattle. *J. Anim. Sci.* 101, 1–11. <https://doi.org/10.1093/jas/skad023>.
- Rabelo, M.M.A., Pires, A.V., Susin, I., Mendes, C.Q., Oliveira Junior, R.C., Ferreira, E.M., 2008. Digestibilidade dos nutrientes e parâmetros ruminais de bovinos de corte alimentados com rações contendo bagaço de cana-de-açúcar obtido pelo método de extração por difusão ou por moagem convencional. *Rev. Bras. Zootec.* 37, 1696–1703. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982008000900024>.
- Razali, N., Wah, Y.B., 2011. Power comparisons of Shapiro–Wilk, Kolmogorov–Smirnov, Lilliefors and Anderson–Darling tests. *J. Stat. Model. Anal.* 2, 21–33. https://www.academia.edu/105326283/Power_comparisons_of_Shapiro_Wilk_Kolmogorov_Smirnov_Lilliefors_and_Anderson_Darling_test.
- Riley, R.D., Lambert, P.C., Abo-Zaid, G., 2010. Meta-analysis of individual participant data: rationale, conduct, and reporting. *BMJ* 340, c221. <https://doi.org/10.1136/bmj.c221>.
- Shi, R., Dong, S., Mao, J., Wang, J., Cao, Z., Wang, Y., Li, S., Zhao, G., 2023. Dietary neutral detergent fiber levels impacting dairy cows' feeding behavior, rumen fermentation, and production performance during the period of peak-lactation. *Animals* 13, 1–15. <https://doi.org/10.3390/ani13182876>.
- Singer, A.M., Marwan, A.A., 2019. Effect of bagasse as a roughage source on nutrient digestibility, some blood constituents and growth performance of growing beef crossbreed calves. *Egypt. J. Nutr. Feeds* 22, 45–53. https://journals.ekb.eg/article_75838_12bd2b1d3bf8f6f213a18a17ed7143c0.pdf
- Smith, K.M., Grant, R.J., Obata, A., 2020. Relationships between starch and physically effective and undegraded fiber in lactating dairy cows. In: *Proc. Cornell Nutr. Conf. Feed Manuf.*, 82, East Syracuse, NY. Cornell University, Ithaca, NY, pp. 66–74. <https://ecommons.cornell.edu/server/api/core/bitstreams/22bff6da-6a09-4be9-9722-0c8c11e140aa/content>.
- Sousa, L.C., Baptista, F.H., 2023. Gestão e Agronegócio: gastos operacionais no confinamento de bovinos. *RECIMA21* 4, 11. <https://recima21.com.br/index.php/recima21/article/view/4463/3163>.

- Zebeli, Q., Aschenbach, J.R., Tafaj, M., Boguhn, J., Ametaj, B.N., Drochner, W., 2012. Invited review: Role of physically effective fiber and estimation of dietary fiber adequacy in high-producing dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 95, 1041–1056. [https://www.journalofdairyscience.org/action/showPdf?pii=S0022-0302\(12\)00063-X](https://www.journalofdairyscience.org/action/showPdf?pii=S0022-0302(12)00063-X).
- Zhou, J., Xue, B., Hu, A., Yue, S., Wu, M., Hong, Q., Wu, Y., Wang, Z., Wang, L., Peng, Q., Xue, B., 2022. Effect of dietary peNDF levels on digestibility and rumen fermentation, and microbial community in growing goats. *Front. Microbiol.* 13, e950587. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.950587>.
- Zinn, R.A., Shen, Y., 1998. An evaluation of ruminally degradable intake protein and metabolizable amino acid requirements of feedlot calves. *J. Anim. Sci.* 76, 1280–1289. <https://doi.org/10.2527/1998.7651280x>.

CAPÍTULO 3- ARTIGO CIENTÍFICO: A INFLUÊNCIA DA SOMBRA E DA ESTRUTURA FÍSICA DA DIETA SOBRE A SELETIVIDADE ALIMENTAR EM BOVINOS NELORE CONFINADOS

Este capítulo foi redigido conforme as normas da revista *Livestock Science*, sendo a tradução para o inglês realizada após a defesa.

INFLUÊNCIA DA SOMBRA E DA ESTRUTURA FÍSICA DA DIETA SOBRE A SELETIVIDADE ALIMENTAR EM BOVINOS NELORE CONFINADOS

RESUMO

A intensificação da pecuária de corte em sistema de confinamento demanda o emprego de modelos estatísticos avançados que possibilitem integrar múltiplas variáveis em análises consistentes e comparáveis. Nesse contexto, este estudo utilizou a análise de classificação hierárquica como ferramenta de zootecnia de precisão, para analisar os efeitos da ambiência (sol e sombra) e da estrutura física da dieta sobre a seletividade alimentar de bovinos nelore confinados nas fases de adaptação (A), crescimento (C) e terminação (T). A meta-análise integrou dados provenientes de três experimentos e abrangeu informações de 8.800 animais; tendo a análise de agrupamento hierárquico, identificado em cada fase do confinamento, dois grupos nutricionais, a alta forragem (AF) e baixa forragem (BF); que resultaram em seis grupos (A-AF, A-BF, C-AF, C-BF, T-AF, T-BF) definidos segundo proporção de forragem e da energia líquida de ganho (ELg). A granulometria da dieta ofertada e das sobras foi determinada pelo Separador de Partículas de Penn State. Calculou-se o índice de seleção (IS), a concentração de fibra em detergente neutro fisicamente efetiva (FDNfe), o consumo de matéria seca (CMS) e a ingestão de ELg, sendo estas variáveis analisadas por modelos lineares generalizados mistos. As dietas com a maior inclusão de forragem apresentaram maiores retenções nas peneiras de 19 mm (até 5,27%) e 8 mm (até 45,5%), associadas a $IS > 100\%$, enquanto partículas finas (4 mm) e a fração de fundo foram geralmente recusadas ($IS < 100\%$). O maior valor de consumo de ELg foi observado na terminação (até 1,37 Mcal/kg MS), sem diferenças significativas entre os demais grupos. A sombra teve pouca influência sobre o comportamento seletivo e um efeito negativo no CMS, nos grupos com mais forragem (em até 0,3 kg/dia), sem haver prejuízo ao consumo de ELg. Conclui-se que a análise de agrupamento hierárquico é uma ferramenta promissora para o processamento de bancos de dados amplos e heterogêneos, apresentando elevada eficiência na interpretação das informações, tendo nesse estudo conseguido comprovar com precisão o efeito da estrutura física da dieta sobre a seletividade alimentar dos animais, bem como do inexpressivo benefício da sombra para os bovinos nelore.

Palavras-chave: índice de seleção, ambiência, zootecnia de precisão.

1. INTRODUÇÃO

A pecuária moderna, sobretudo em regiões tropicais como o Brasil, enfrenta o desafio de conciliar produtividade e sustentabilidade ambiental em sistemas de produção cada vez mais tecnificados. Nesse contexto, as condições climáticas adversas, típicas de regiões quentes, exercem um impacto direto sobre a eficiência produtiva, demandando a adoção de estratégias que mitiguem os efeitos deletérios do estresse térmico (Sacarrão-Birrento et al., 2023). Entre tais estratégias, destacam-se os avanços na ambiência e na nutrição animal, que têm sido fundamentais para minimizar as perdas no desempenho zootécnico dos bovinos.

O estresse térmico, desencadeado por altas temperaturas e radiação solar direta, compromete a saúde dos bovinos ao reduzir o consumo e modificar, sobretudo, o comportamento alimentar e a seletividade dos ingredientes da dieta (Graczcki et al., 2022). Dessa forma, a implementação de estruturas adequadas de sombreamento, ventilação e o manejo nutricional eficiente tornam-se medidas indispensáveis para mitigar os impactos negativos do ambiente sobre a nutrição e o bem-estar dos animais (Edwards-Callaway et al., 2021; Sejian et al., 2018).

Em tais condições, observa-se uma tendência dos animais a evitarem alimentos fibrosos, uma vez que sua fermentação ruminal está associada a maior geração de calor metabólico, agravando o desconforto térmico (Daltro et al., 2020). Assim, compreender como o ambiente influencia a seletividade por frações fibrosas torna-se essencial para o desenvolvimento de estratégias nutricionais mais eficientes e adaptadas às condições tropicais. A escolha criteriosa dos ingredientes, a granulometria dos alimentos e o tipo de fibra da dieta são, portanto, fatores que devem ser ajustados em função das condições microclimáticas e do nível de conforto proporcionado pelo ambiente de confinamento.

Segundo Miller-Cushon e Devries (2017), é plausível a hipótese de que, diante do estresse térmico, os animais possam modificar sua seletividade alimentar, priorizando o consumo de partículas de menor tamanho ou de maior densidade energética como estratégia adaptativa para reduzir a produção de calor metabólico oriundo da fermentação ruminal. Todavia, essas adaptações comportamentais podem afetar negativamente o equilíbrio nutricional da dieta,

com possíveis repercussões sobre a saúde ruminal e o desempenho produtivo dos bovinos confinados.

Nesse cenário, a zootecnia de precisão desponta como abordagem promissora ao integrar, de forma sistêmica, informações nutricionais, estruturais, comportamentais e ambientais para apoiar decisões de manejo mais assertivas (Kleen e Guatteo, 2023). Entre suas ferramentas, a análise de agrupamento hierárquico permite classificar objetivamente dietas e sistemas produtivos em grupos homogêneos, identificando padrões seletivos associados tanto à composição física e bromatológica das dietas quanto às condições de ambiência (Matzhold et al., 2024). Essa metodologia contribui para reduzir a heterogeneidade dos dados, especialmente em estudos que abrangem múltiplas fases de confinamento e variações operacionais, favorecendo interpretações mais robustas e adaptadas à realidade de confinamentos comerciais (Okon et al., 2023; Aquilani et al., 2022).

Diante desse panorama, o presente estudo teve por objetivo avaliar a influência do sol e sombra sobre o comportamento alimentar de bovinos confinados submetidos a diferentes grupos de dietas, utilizando a análise de agrupamento como ferramenta de zootecnia de precisão para integrar variáveis nutricionais, estruturais e ambientais ao longo das fases de adaptação, crescimento e terminação.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo congregou dados de três experimentos, conduzidos de forma independente entre si, porém com protocolos metodológicos homogêneos. Os ensaios ocorreram entre os anos de 2022 e 2023, no Centro de Inovação e Pesquisa Campanelli, localizado no município de Altair, estado de São Paulo, Brasil; e situado nas coordenadas geográficas 20° 31' 26" S e 49° 03' 32" O. A região apresenta um clima subtropical, com temperatura média de 22,9°C e precipitação anual média de 1.287 mm.

Todos os procedimentos realizados com os animais foram executados em conformidade rigorosa com as normas de bem-estar animal, tendo sido previamente aprovados pelo Comitê de Ética no Uso de Animais da Universidade

Estadual Paulista (UNESP), Câmpus de Jaboticabal, São Paulo, Brasil (Protocolo nº 016339/19).

Para a consolidação e análise conjunta dos dados obtidos, adotou-se a abordagem de meta-análise de dados individuais (*Individual Participant Data Meta-analysis* - IPD), reconhecida por viabilizar a síntese de informações brutas provenientes de experimentos distintos, preservando a independência estatística entre as unidades experimentais, conforme sugerido por Riley et al. (2010).

O delineamento experimental adotado nos três estudos seguiu o esquema de blocos casualizados, com agrupamento dos animais conforme o peso corporal inicial, a fim de garantir homogeneidade intrablocos e controlar a variabilidade associada a esse fator. Nos Experimentos 1 e 2, a estrutura contou com oito blocos experimentais, cada um contando oito baias coletivas com capacidade para 55 animais, sendo quatro com sombreamento artificial e quatro em exposição direta ao sol, totalizando 440 bovinos por bloco e 3.520 animais por experimento. No Experimento 3, manteve-se a divisão em oito blocos, igualmente distribuídos entre os dois ambientes, porém com quatro baias por bloco, sendo 2 baias com sombreamento artificial e 2 com exposição direta ao sol, respeitando a mesma lotação por baia. Essa configuração resultou em 1.760 animais no terceiro ensaio. Ao todo, os três experimentos envolveram 8.800 bovinos.

As baias possuíam área de 750 m², com uma dimensão de 50 m de comprimento por 15 m de largura; e, portanto, com uma área individual de 13 m² por animal. Os animais dispunham de cochos lineares, com acesso unilateral, de maneira a assegurar 27 centímetros de espaço linear por animal; e bebedouros com dimensões de 3,0 m de comprimento, 0,8 m de altura e 0,25 m de largura, e, portanto, com capacidade para armazenar 600 litros de água.

Nas baias com sombreamento, foi disponibilizada uma área coberta de 2,4 m² por animal. As estruturas foram compostas por telhas de aço galvanizado, com espessura de 0,43 mm, largura de 1,08 m e comprimento de 10 m, instaladas com espaçamento de 0,15 m entre as peças e sustentadas por um sistema de cabos de aço, sendo quatro superiores, de 6,35 mm, e quatro inferiores, de 3,17 mm de diâmetro, ancorados em colunas de aço carbono (2,6 mm de espessura e 7,62 cm de diâmetro) fixadas em bases de concreto de 2 m

de altura. As telhas foram posicionadas a 5 m do solo, com orientação norte-sul e declinação de 18° para nordeste-sudoeste, de modo a otimizar a incidência de sombra ao longo do dia.

A população experimental era composta por animais da raça nelore (*Bos taurus indicos*), com 98,9, 99,0 e 99,7% de pureza racial, nos experimentos 1, 2 e 3, respectivamente. A idade média dos animais foi de aproximadamente 24 meses, e os pesos corpóreos médios iniciais foram de 409,0, 368,7 e 382,7 kg, nos respectivos ensaios.

Antes do início das fases experimentais, os animais foram submetidos a um rigoroso processo de triagem, incluindo jejum hídrico e alimentar de 16 horas, conduzido de maneira escalonada, com intervalos de 15 minutos entre os lotes, para garantir a uniformização das condições de pesagem. Após a aferição dos pesos, os animais foram distribuídos em blocos de acordo com o peso corporal individual, com o auxílio de uma planilha eletrônica com geração randômica de números (*Microsoft Excel, Microsoft Corporation, Redmond, WA, EUA*). Excluíram-se os indivíduos que apresentaram variações superiores a duas vezes o desvio padrão da média ou que evidenciaram sinais clínicos de enfermidades; sendo estes substituídos por outros animais com as características raciais, peso e idade compatível com o grupo a ser avaliado, antes do início do experimento.

Posteriormente, os animais foram submetidos a uma dieta de manutenção durante a fase pré-experimental, com duração de 20, 19 e 14 dias nos experimentos 1, 2 e 3, respectivamente, com o intuito de garantir uma adaptação uniforme às condições de manejo e às dietas que seriam empregadas nas fases subsequentes.

Na sequência, foram oferecidas dietas formuladas especificamente para as fases de Adaptação, Crescimento e Terminação (Tabela 1), com as transições realizadas de forma gradativa. Ressalta-se que as composições dietéticas variaram entre os experimentos, em função das necessidades específicas de cada protocolo experimental.

As dietas foram preparadas e distribuídas com o auxílio de um vagão misturador montado em caminhão (Brutale, Modelo MTB-120CM, com 16 m³ de capacidade), equipado com balança eletrônica de precisão (± 1 kg), o que assegurou a homogeneidade da mistura, inclusive com ingredientes fibrosos. O

fornecimento da RTM foi realizado em dois tratos diários, às 7:30 e 14:00 horas, divididos igualmente entre as refeições. As dietas foram distribuídas de modo uniforme nos cochos, empregando a técnica de fornecimento escalonado ao longo de toda a extensão, conforme descrito por Pacheco et al. (2023), o que garantiu acesso equitativo aos animais e contribuiu para a eficiência alimentar durante todo o período experimental.

A duração das fases experimentais variou conforme o delineamento de cada estudo. Assim, a Fase de Adaptação foi fixada em 16 dias em todos os experimentos, enquanto a Fase de Crescimento durou 22, 27 e 25 dias nos experimentos 1, 2 e 3, respectivamente. Já a Fase de Terminação apresentou durações médias de 61, 78 e 71 dias, respectivamente, sendo estas variações ocorridas em função do escalonamento de abate, realizado em intervalos semanais de sete dias, a partir dos blocos de maior peso corporal.

Durante o experimento, foram realizados ajustes diários na matéria seca (MS) dos ingredientes das dietas, com coletas efetuadas duas vezes ao dia para determinação da umidade e correção das fórmulas antes da mistura, assegurando a precisão da composição da ração ofertada. Além disso, amostras da Ração Total Misturada (RTM) e das sobras foram coletadas diariamente para a determinação do teor de MS. A gestão alimentar foi orientada para manter sobras diárias de no mínimo 5% da matéria seca, do total ofertado.

O consumo de matéria seca foi determinado a partir da diferença entre a quantidade de RTM ofertada e as sobras registradas diariamente em cada baia. A partir desse valor, o consumo médio individual foi estimado pela divisão do total consumido, pelo número de animais alojados na respectiva baia, expressando-se o consumo em quilogramas de matéria seca ingerida por animal ao dia.

Além disso, semanalmente foram realizadas duas coletas distintas da RTM para análise granulométrica, utilizando-se o Separador de Partículas de Penn State (PSPS), conforme descrito por Heinrichs e Jones (2022). A primeira amostra foi coletada logo após a distribuição da ração, representando a dieta ofertada. A segunda foi obtida das sobras remanescentes, permitindo avaliar a seletividade alimentar dos animais em relação às partículas.

Tabela 1. Proporção dos ingredientes, expressos na matéria seca, das dietas experimentais, em função das fases (Adaptação, Crescimento e Terminação) do confinamento e experimentos (Exp).

Ingrediente - % MS	Exp 1	Exp 2	Exp 3
Adaptação			
Silagem de milho	35,80	32,10	-
Bagaço de cana crú	-	-	16,11
Palha de cana	-	6,15	-
Silagem grão úmido de milho	-	18,15	17,19
<i>Snaplage</i> ¹	15,33	-	-
Melaço de soja	5,00	-	7,52
Polpa cítrica	21,77	18,14	15,04
Torta de algodão gorda	-	-	23,10
Refinazil ²	-	-	6,23
Farelo de algodão 38%	12,30	13,42	-
Casca de soja não peletizada	-	9,04	11,82
Caroço de algodão	6,80	-	-
Núcleo mineral ³	3,00	2,99	3,00
Crescimento			
Silagem de milho	23,46	21,50	-
Bagaço de cana crú	-	-	13,50
Palha de cana	-	6,15	-
Silagem grão úmido de milho	-	23,27	24,21
<i>Snaplage</i> ¹	22,73	-	-
Melaço de soja	6,36	-	7,52
Polpa cítrica	25,44	23,27	17,32
Torta de algodão gorda	-	-	22,35
Refinazil ²	-	-	6,52
Farelo de algodão 38%	11,91	13,78	-
Casca de soja não peletizada	-	9,04	5,59
Caroço de algodão	7,09	-	-
Núcleo mineral ³	3,00	3,00	3,00
Terminação			
Silagem de milho	2,94	6,33	-
Bagaço de cana crú	-	-	7,23
Palha de cana	-	6,15	-
Silagem grão úmido de milho	-	34,11	31,27
<i>Snaplage</i> ¹	34,26	-	-
Melaço de soja	8,90	30,77	7,52
Polpa cítrica	32,30	-	24,40
Torta de algodão gorda	-	-	16,18
Refinazil ²	-	-	5,42
Farelo de algodão 38%	7,83	10,59	-
Casca de soja não peletizada	-	9,05	4,97
Caroço de algodão	10,77	-	-
Núcleo mineral ³	3,00	3,01	3,00

¹*Snaplage*: Silagem de espiga de milho; ²Refinazil: resíduo do grão de milho, composto pela parte fibrosa, gérmen, glúten, amido remanescente e frações proteicas solúveis; ³Núcleo mineral contendo 10% de Cálcio, 2,3% de Fósforo, 5% de Sódio, 1% de Magnésio, e 4,5% de Enxofre, expressos na matéria seca.

Para esta análise específica, a amostragem foi conduzida com base nas condições ambientais de sol e sombra, considerando a estrutura de blocos de cada experimento. Nos Experimentos 1 e 2, foram elaboradas amostras compostas em cada ambiente por meio da integração dos tratamentos originalmente testados, totalizando quatro composições distintas sob sol e quatro sob sombra. Cada amostra representou a composição de oito baias por unidade, refletindo a distribuição completa das dietas originalmente avaliadas. No Experimento 3, manteve-se o mesmo critério de agrupamento, porém com dois tratamentos originalmente testados, resultando em duas amostras compostas por ambiente.

A partir do banco de dados previamente uniformizado, realizou-se uma análise de agrupamento hierárquico visando caracterizar padrões nutricionais entre as dietas utilizadas nas diferentes fases do confinamento. Todas as variáveis bromatológicas foram inicialmente consideradas; contudo, aquelas com elevada correlação foram removidas, a fim de evitar redundâncias e distorções na mensuração das distâncias entre grupos. Optou-se, então, por utilizar apenas a energia líquida de ganho (ELg) e a proporção de forragem como variáveis representativas, por possibilitarem uma estrutura de agrupamento mais clara e de fácil interpretação. A etapa final foi conduzida exclusivamente com essas duas variáveis, após normalização dos dados e cálculo das distâncias pela métrica Euclidiana, aplicando-se o método hierárquico Ward.D2 no software R, conforme as recomendações de Ferreira et al. (2020).

O dendrograma resultante da análise (Figura 1) revelou a formação de dois agrupamentos nutricionais distintos em cada fase do confinamento, determinados principalmente pela proporção de forragem: I - Adaptação com Alta Forragem (A-AF) e Baixa Forragem (A-BF); II - Crescimento com Alta Forragem (C-AF) e Baixa Forragem (C-BF); e III - Terminação com Alta Forragem (T-AF) e Baixa Forragem (T-BF). Os agrupamentos de Alta Forragem foram formados pelos experimentos 1 e 2, enquanto o de Baixa Forragem reuniu o experimento 3. Observou-se que os grupos caracterizados por maior participação de forragem apresentaram valores superiores de energia líquida de ganho (ELg) em relação àqueles com menor inclusão forrageira. Assim, a descrição bromatológica de cada grupo, apresentada na Tabela 2, foi obtida com base nas médias das dietas

correspondentes, evidenciando diferenças marcantes, sobretudo quanto à proporção de volumosos e à ELg.

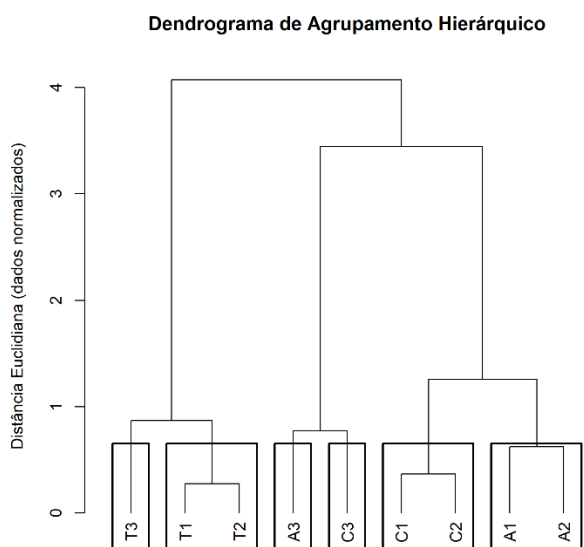


Figura 1. Dendrograma de agrupamento hierárquico representando a similaridade entre as dietas das fases de adaptação, crescimento e terminação, avaliadas nos diferentes experimentos conduzidos. Na identificação das amostras, as letras A, C e T indicam, respectivamente, as Fases de Adaptação, Crescimento e Terminação, enquanto os números 1, 2, 3 correspondem aos experimentos em que as dietas foram avaliadas.

Com base nos dados obtidos pelo Separador de Partículas de Penn State (PSPS), calculou-se o índice de seleção (IS) de cada peneira (19, 8, 4 mm e fundo) para cada grupo nutricional e fase experimental, seguindo a equação descrita por Dias et al. (2018), na qual:

$$IS = 100 * (\text{Consumo Observado} / \text{Consumo Referência}) \quad (1)$$

O consumo observado foi obtido considerando a quantidade de RTM fornecida na baia, ponderada pela fração retida em cada peneira, descontando-se o produto entre a proporção de sobras retidas na mesma peneira e o peso médio das sobras, corrigido por animal. Já o consumo de referência representou a ingestão esperada em cada peneira na ausência de seleção, sendo calculado a partir da proporção de RTM retida na peneira e do peso médio da fração efetivamente consumida. Os valores do IS foram categorizados para melhor interpretação, sendo índices abaixo de 100%, indicaram recusa seletiva de determinadas partículas; acima de 100%, preferência por partículas específicas;

e iguais a 100%, representaram ausência de seleção, ou seja, consumo proporcional às características físicas do material originalmente fornecido.

Tabela 2. Composição bromatológica e proporção de forragem, em função dos distintos grupos de dietas avaliadas.

Variáveis - %	Adaptação ¹		Crescimento ²		Terminação ³	
	A-AF	A-BF	C-AF	C-BF	T-AF	T-BF
MS ⁴	55,50	75,00	61,00	75,00	70,50	76,00
PB ⁵	15,15	15,00	15,10	15,00	14,30	14,20
FDN ⁶	35,70	41,00	32,80	35,90	27,98	29,10
FDNfe ⁷	21,00	18,00	18,00	16,00	13,50	11,00
EE ⁸	2,80	3,00	2,85	3,20	3,17	3,20
CNF ⁹	42,85	36,90	45,80	41,80	51,23	49,90
MM ¹⁰	3,50	4,10	3,45	4,10	3,33	3,60
Forragem	39,32	16,101	28,96	13,50	12,21	7,23
FDN ⁶ forragem	14,02	6,61	9,48	4,85	3,41	2,10
ELg ¹¹ - Mcal/kg MS	1,14	1,03	1,16	1,08	1,23	1,09

¹ A-BF: Adaptação - Baixa Forragem, A-AF: Adaptação - Alta Forragem; ² C-BF: Crescimento - Baixa Forragem, C-AF: Crescimento - Alta Forragem; e ³ T-BF: Terminação - Baixa Forragem, T-AF: Terminação - Alta Forragem; ⁴ MS: Matéria Seca; ⁵ PB: Proteína Bruta; ⁶ FDN: Fibra em Detergente Neutro; ⁷ FDNfe: Fibra em Detergente Neutro fisicamente efetivo; ⁸ EE: Extrato Etéreo; ⁹ CNF: Carboidratos Não Fibrosos; ¹⁰ MM: Matéria Mineral; e ¹¹ ELg: Energia Líquida de Ganho.

O consumo de ELg foi estimado por modelos que integraram peso corporal (PC), ganho de peso diário (GPD) e consumo de matéria seca (CMS), permitindo avaliação precisa do consumo energético sob diferentes condições experimentais. A exigência de energia para ganho (Eg) foi então calculada por baia e grupo nutricional, conforme a equação do NRC (1984):

$$Eg = (0,0493 \times PC^{0,75}) \times GPD^{1,097} \quad (2)$$

Em sequência, a exigência de energia para manutenção (Em) foi obtida com base no modelo proposto por Lofgreen e Garrett (1968), utilizando a equação:

$$Em = 0,077 * PC^{0,75} \quad (3)$$

Com os valores de Eg e Em calculados, procedeu-se à estimativa da energia líquida de manutenção da dieta (ELm), empregando a abordagem quadrática descrita por Zinn e Shen (1998), definida pela fórmula:

$$ELm = (-b - \sqrt{b^2 - 4ac})/2c \quad (4)$$

Em que os coeficientes são definidos como:

$$a = -0,41 * Em \quad (5)$$

$$b = -0,877 * Em + 0,41 * CMS \quad (6)$$

$$c = -0,877 * CMS \quad (7)$$

Por fim, a ELg foi calculada segundo o mesmo modelo, utilizando a equação:

$$ELg = (0,877 \times ELM) - 0,41 \quad (8)$$

Já a fração de FDN fisicamente efetiva (FDNfe) foi estimada com base na metodologia de Mertens (1997), relacionando o teor total de FDN ao percentual de partículas retidas nas três peneiras superiores do PSPS. Desta forma, a estimativa foi realizada para as amostras de dieta ofertada e das sobras, permitindo avaliar a seletividade dos animais em relação às partículas fibrosas.

As análises estatísticas foram realizadas no software R, com o uso de pacotes especializados, como glmmTMB e emmeans. As variáveis analisadas incluíram a distribuição de RTM e sobras nas peneiras do PSPS, IS por peneira, ELg , FDNfe da dieta e das sobras, além do CMS.

Inicialmente, realizou-se a detecção e exclusão de outliers com base no escore Z (Curtis et al., 2016), limitando-se a exclusão a até 15% das observações por variável. O objetivo foi melhorar a normalidade e a homogeneidade dos dados, verificadas pelos testes de Shapiro-Wilk (Razali & Wah, 2011) e Bartlett (1937), respectivamente. Ainda assim, em alguns casos, os pressupostos não foram plenamente atendidos, justificando a adoção do modelo.

Adicionalmente, para as análises referentes à granulometria das sobras, os dias em que não foram observadas sobras, ou seja, aqueles em que o consumo foi total, foram excluídos do banco de dados. Essa exclusão assegurou que as porcentagens refletissem de maneira fidedigna a distribuição de partículas entre as peneiras, evitando distorções nos resultados.

Os dados foram submetidos a Modelos Lineares Generalizados Mistos com família Gamma e função de ligação logarítmica via glmmTMB (Brooks et al., 2017), conforme a equação:

$$Y = \beta_0 + A + GN + A * GN + (1|BLOCO) + e \quad (9)$$

Onde:

Y = Variável dependente específica da análise (Índices de seleção por peneira do PSPS; distribuição da RTM e da sobra por peneira do PSPS; ELg ; CMS; FDNfe da RTM ofertada e da sobra); β_0 = Intercepto do modelo, representando o valor médio esperado da variável dependente na ausência dos

efeitos fixos, aleatórios; A = Efeito fixo do ambiente, considerando as condições de sombreamento ou exposição ao pleno sol; GN = Efeito fixo do grupo nutricional; A*GN = Interação entre o ambiente e o grupo nutricional, a qual permite verificar possíveis efeitos combinados entre as condições microclimáticas e as estratégias nutricionais. BLOCO = Efeito aleatório do bloco, que considera variações inerentes ao respectivo experimento e amostra; e = corresponde ao erro aleatório associado a cada observação.

A significância dos efeitos foi avaliada via ANOVA de Tipo III com teste de qui-quadrado, e as médias ajustadas foram obtidas pelo pacote emmeans com correção de Sidak. As médias foram retranspostas para a escala original mediante exponenciação, possibilitando uma interpretação mais direta dos resultados.

3. RESULTADOS

A caracterização física das dietas, determinada pelo Separador de Partículas de Penn State (PSPS), evidenciou diferenças consistentes entre os grupos formados pelo agrupamento hierárquico (Tabela 3). De modo geral, a fração ofertada apresentou maior retenção de partículas nas peneiras superiores (19 e 8 mm) nos grupos com maior inclusão de forragem (A-AF, C-AF e T-AF), quando comparados aos grupos de menor inclusão (A-BF, C-BF e T-BF).

Na fase de adaptação, contudo, observou-se um comportamento particular, em que a peneira de 19 mm apresentou maior retenção no grupo A-BF em relação ao A-AF sob sol (5,27 contra 3,78%; $P = 0,049$), diferença que não se repetiu sob sombra ($P = 0,547$). Dentro do próprio A-BF, a retenção foi superior sob sol ($P = 0,015$), enquanto no A-AF não houve efeito de ambiente ($P = 0,268$). Já a peneira de 8 mm seguiu a tendência esperada, com maiores valores no A-AF em relação ao A-BF, tanto sob sol (44,50 contra 31,70%; $P = 0,005$) quanto sob sombra (45,50 contra 33,60%; $P = 0,011$). Por sua vez, as partículas de 4 mm foram mais representativas no A-BF (22,50 contra 16,90% sob sol; 23,60 contra 16,80% sob sombra; $P < 0,001$), enquanto a fração acumulada no fundo permaneceu semelhante entre grupos e ambientes (40,50 sob sol e 38,70% sob sombra no A-BF; 33,20 sob sol e 33,00% sob sombra no A-AF; $P > 0,05$).

No crescimento, o padrão de maior retenção de partículas grosseiras nos grupos com mais forragem foi mantido. O grupo C-AF apresentou maiores valores nas peneiras de 19 mm (2,98 sob sol e 3,00% sob sombra) e 8 mm (36,50 sob sol e 37,60% sob sombra) do que o C-BF (19 mm: 1,89 e 1,46%; 8 mm: 25,30 e 24,70%; $P < 0,01$). Em contrapartida, as partículas de 4 mm foram mais abundantes no C-BF (24,90 sob sol e 25,60% sob sombra) em comparação ao C-AF (20,80 sob sol e 21,10% sob sombra; $P < 0,001$), com acúmulo de fundo mais elevado no C-BF, diferindo apenas sob sombra (48,20 contra 37,50%; $P = 0,029$). A única diferença entre ambientes ocorreu no C-AF, que apresentou menor valor no fundo sob sombra (37,50 contra 38,80%; $P = 0,018$).

Na terminação, a distinção entre grupos concentrou-se unicamente nas partículas maiores, com maiores valores no T-AF tanto na peneira de 19 mm (3,78 contra 1,09% sob sol; 3,48 contra 0,97% sob sombra; $P < 0,001$) quanto na peneira de 8 mm (29,30 contra 20,30% sob sol; 30,70 contra 22,80% sob sombra; $P < 0,05$). As frações de 4 mm e de fundo foram semelhantes entre grupos ($P > 0,05$), embora diferenças entre ambientes tenham sido mais frequentes nesta fase. No T-AF, a retenção foi maior sob sombra na peneira de 8 mm (30,70 contra 29,30%; $P = 0,013$) e na de 4 mm (24,70 contra 23,70%; $P = 0,003$), enquanto o fundo apresentou menor valor sob sombra (38,70 contra 41,00%; $P = 0,001$). No T-BF, padrão semelhante foi observado nas peneiras de 8 mm (22,80 contra 20,30%; $P = 0,002$) e 4 mm (26,60 contra 24,70%; $P = 0,009$), enquanto para a fração de fundo ocorreu o inverso, com maior acúmulo sob sol (53,50 contra 49,60%; $P = 0,015$).

As sobras seguiram um padrão complementar ao da dieta ofertada. Na adaptação, a peneira de 19 mm apresentou maior retenção no A-AF em relação ao A-BF (2,24 contra 1,00% sob sol; 2,32 contra 1,00% sob sombra; $P < 0,001$), sem diferenças entre ambientes ($P > 0,05$). Nas peneiras de 8 mm, as proporções foram semelhantes entre grupos (35,10 contra 27,60% sob sol; 34,70 contra 26,50% sob sombra; $P > 0,05$) e também entre ambientes, enquanto a peneira de 4 mm apresentou comportamento inverso à de 19 mm, com maiores valores no A-BF (25,10 contra 19,60% sob sol; 25,90 contra 19,00% sob sombra; $P < 0,001$), sem diferenças entre ambientes ($P > 0,05$). O fundo não diferiu entre

grupos ou ambientes (41,80 contra 46,30% sob sol; 41,70 contra 46,70% sob sombra; $P > 0,05$).

Na fase de crescimento, as sobras retidas na peneira de 19 mm foram maiores no C-AF em comparação ao C-BF (1,34 contra 0,62% sob sol; 1,42 contra 0,40% sob sombra; $P \leq 0,001$), com diferença entre ambientes apenas no C-BF (maior valor sob sol; $P = 0,049$). Nas peneiras de 8 mm, as proporções foram semelhantes entre grupos (25,20 contra 18,10% sob sol; 26,30 contra 18,60% sob sombra; $P > 0,05$) e ambientes ($P > 0,05$). A peneira de 4 mm apresentou maiores valores no C-BF (26,70 contra 22,50% sob sol; 26,50 contra 22,80% sob sombra; $P \leq 0,001$), sem diferenças ambientais ($P > 0,05$). A fração de fundo, que representou aproximadamente metade das sobras (49,20 contra 54,60% sob sol; 48,30 contra 54,50% sob sombra), entretanto não diferiu entre grupos nem ambientes ($P > 0,05$).

Na terminação, a peneira de 19 mm manteve uma maior retenção no T-AF (0,76 contra 0,26% sob sol; 0,91 contra 0,28% sob sombra; $P < 0,001$), sem diferenças ambientais ($P > 0,05$). As peneiras de 8 e 4 mm não apresentaram diferenças entre grupos (15,80 contra 14,70% sob sol; 17,70 contra 15,10% sob sombra na peneira de 8 mm; 23,60 contra 25,70% sob sol; 23,80 contra 25,80% sob sombra na de 4 mm; $P > 0,05$). A fração de fundo foi semelhante entre grupos (58,90 contra 59,30% sob sol; 56,50 contra 58,80% sob sombra; $P > 0,05$), mas apresentou diferença entre ambientes no T-AF, com menor valor sob sombra (56,50 contra 58,90%; $P = 0,002$).

Tabela 3. Percentual de partículas retidas em cada peneira do Separador de Partículas de Penn State (PSPS), avaliadas na fração ofertada e nas sobras, sob condições de sol e sombra, nas fases de adaptação, crescimento e terminação.

Parâmetro	Local	A-AF ¹	A-BF ²	P-valor	C-AF ³	C-BF ⁴	P-valor	T-AF ⁵	T-BF ⁶	P-valor
Fração Ofertada - %										
19 mm	Sol	3,78 ± 0,28	5,27 ± 0,81	0,049	2,98 ± 0,18	1,89 ± 0,27	0,003	3,78 ± 0,39	1,09 ± 0,22	<0,001
	Sombra	3,55 ± 0,26	3,92 ± 0,57	0,547	3,00 ± 0,18	1,46 ± 0,21	<0,001	3,48 ± 0,36	0,97 ± 0,20	<0,001
	P-valor	0,268	0,015		0,889	0,112		0,230	0,387	
8 mm	Sol	44,50 ± 2,38	31,70 ± 3,47	0,005	36,50 ± 1,92	25,30 ± 2,75	0,002	29,30 ± 1,72	20,30 ± 2,38	0,005
	Sombra	45,50 ± 2,44	33,60 ± 3,59	0,011	37,60 ± 1,98	24,70 ± 2,69	0,001	30,70 ± 1,80	22,80 ± 2,67	0,023
	P-valor	0,352	0,296		0,207	0,726		0,013	0,002	
4 mm	Sol	16,90 ± 0,58	22,50 ± 1,63	<0,001	20,80 ± 0,21	24,90 ± 0,67	<0,001	23,70 ± 0,48	24,70 ± 1,01	0,370
	Sombra	16,80 ± 0,58	23,60 ± 1,63	<0,001	21,10 ± 0,22	25,60 ± 0,69	<0,001	24,70 ± 0,49	26,60 ± 1,07	0,085
	P-valor	0,926	0,354		0,420	0,437		0,003	0,009	
Fundo	Sol	33,20 ± 2,03	40,50 ± 5,09	0,151	38,80 ± 1,98	48,00 ± 4,96	0,066	41,00 ± 2,54	53,50 ± 6,63	0,054
	Sombra	33,00 ± 2,03	38,70 ± 4,75	0,244	37,50 ± 1,91	48,20 ± 4,98	0,029	38,70 ± 2,40	49,60 ± 6,15	0,074
	P-valor	0,879	0,486		0,018	0,914		0,001	0,015	
Fração Sobra - %										
19 mm	Sol	2,24 ± 0,18	1,00 ± 0,20	<0,001	1,34 ± 0,12	0,62 ± 0,13	0,001	0,76 ± 0,08	0,26 ± 0,06	<0,001
	Sombra	2,32 ± 0,19	1,00 ± 0,19	<0,001	1,42 ± 0,12	0,40 ± 0,08	<0,001	0,91 ± 0,10	0,28 ± 0,06	<0,001
	P-valor	0,759	0,693		0,497	0,049		0,112	0,752	
8 mm	Sol	35,10 ± 2,38	27,60 ± 3,77	0,114	25,20 ± 2,04	18,10 ± 3,04	0,077	15,80 ± 0,95	14,70 ± 1,76	0,578
	Sombra	34,70 ± 2,35	26,50 ± 3,63	0,078	26,30 ± 2,12	18,60 ± 3,12	0,064	17,70 ± 1,08	15,10 ± 1,81	0,231
	P-valor	0,563	0,412		0,270	0,793		0,006	0,740	
4 mm	Sol	19,60 ± 0,54	25,10 ± 1,44	<0,001	22,50 ± 0,34	26,70 ± 1,06	<0,001	23,60 ± 1,01	25,70 ± 2,21	0,356
	Sombra	19,00 ± 0,53	25,90 ± 1,48	<0,001	22,80 ± 0,34	26,50 ± 1,05	0,001	23,80 ± 1,02	25,80 ± 2,22	0,395
	P-valor	0,053	0,436		0,481	0,885		0,483	0,940	
Fundo	Sol	41,80 ± 1,65	46,30 ± 3,70	0,247	49,20 ± 2,13	54,60 ± 4,81	0,293	58,90 ± 2,10	59,30 ± 4,23	0,933
	Sombra	41,70 ± 1,66	46,70 ± 3,73	0,205	48,30 ± 2,08	54,50 ± 4,80	0,216	56,50 ± 2,02	58,80 ± 4,19	0,613
	P-valor	0,885	0,813		0,215	0,986		0,002	0,747	

¹ A-AF = Adaptação - Alta Forragem. ² A-BF = Adaptação - Baixa Forragem. ³ C-AF = Crescimento - Alta Forragem. ⁴ C-BF = Crescimento - Baixa Forragem. ⁵ T-AF = Terminação - Alta Forragem. ⁶ T-BF = Terminação - Baixa Forragem. Valores médios de n amostral para os grupos A-AF, A-BF, C-AF, C-BF, T-AF, T-BF: 12, 3, 27, 4, 64, 16, respectivamente. P: nível de significância (P < 0,05).

O índice de seleção (IS) evidenciou comportamento seletivo moderado, caracterizado por consumo preferencial nas peneiras de 19 e 8 mm (Tabela 4), com valores superiores a 100%, enquanto as peneiras de 4 mm e a fração de fundo apresentaram, em geral, valores próximos ou inferiores a 100%, indicativos de recusa. Esse padrão manteve-se ao longo de todo o confinamento, com algumas particularidades entre grupos nutricionais e ambientes.

Nas peneiras de 19 mm, houve consumo preferencial em todos os grupos, com destaque para maiores valores no A-AF sob sol (101,00 contra 100,30% sob sombra; $P = 0,017$) e no C-AF, também sob sol (101,50 contra 101,00% sob sombra; $P = 0,016$), enquanto nos respectivos grupos de menor inclusão de forragem (A-BF e C-BF) não foram verificadas diferenças entre ambientes (100,70 contra 100,50%, $P = 0,757$; 100,80 contra 100,90%, $P = 0,847$). Na fase de terminação, o consumo preferencial manteve-se elevado, sem diferenças significativas entre grupos ou ambientes (T-AF: 102,40 e 102,70%; T-BF: 102,10 e 102,50%; $P > 0,05$).

As peneiras de 8 mm apresentaram comportamento próximo à neutralidade na adaptação, sem diferenças entre grupos ou ambientes (A-AF: 100,40 e 100,20%; A-BF: 100,10 e 100,20%; $P > 0,05$), mas mostraram consumo preferencial mais acentuado nos grupos com maior inclusão de forragem nas fases subsequentes. No crescimento, o C-AF apresentou maior seletividade sob sol em relação ao C-BF (100,80 contra 100,30%; $P = 0,042$), sem diferença sob sombra (100,70 contra 100,30%; $P = 0,071$). Na terminação, ambos os grupos mantiveram consumo preferencial (T-AF: 101,40 e 101,50%; T-BF: 101,00 e 101,40%; $P > 0,05$), sem diferenças ambientais.

As partículas menores, retidas na peneira de 4 mm, foram levemente recusadas ao longo de todo o confinamento. Na adaptação, os valores permaneceram próximos da neutralidade, sem diferenças significativas entre grupos ou ambientes (A-AF: 99,69 sob sol e 99,80% sob sombra; A-BF: 99,90 sob sol e 99,92% sob sombra; $P > 0,05$). No crescimento, observou-se padrão semelhante, com recusa em ambos os grupos (C-AF: 99,78 sob sol e 99,83% sob sombra; C-BF: 99,93 sob sol e 99,97% sob sombra; $P > 0,05$). Apenas na terminação foi registrada seletividade positiva sob sombra, com maiores valores

do que sob sol em ambos os grupos (T-AF: 100,10 contra 99,88%; $P = 0,024$; T-BF: 100,20 contra 99,83%; $P = 0,027$).

A fração de fundo apresentou recusa em todas as fases, com menor consumo relativo nos grupos de maior inclusão de forragem. Na adaptação, não foram observadas diferenças entre grupos ou ambientes (A-AF: 99,39 sob sol e 99,58% sob sombra; A-BF: 99,84 sob sol e 99,83% sob sombra; $P > 0,05$). No crescimento, porém, a rejeição foi mais acentuada no C-AF em relação ao C-BF (99,23 contra 99,82% sob sol; 99,30 contra 99,84% sob sombra; $P = 0,020$ e $P = 0,031$), padrão também observado na terminação, com valores mais baixos no T-AF do que no T-BF (98,58 contra 99,62% sob sol; 98,39 contra 99,24% sob sombra; $P = 0,009$ e $P = 0,032$).

A fibra em detergente neutro fisicamente efetiva (FDNfe) da ração ofertada apresentou redução progressiva entre as fases, acompanhando a menor participação de volumosos nas dietas. Na adaptação, não foram observadas diferenças significativas entre os grupos nutricionais, tanto sob sol (23,50 no A-AF e 24,40% no A-BF; $P = 0,408$) quanto sob sombra (23,70 e 25,10%; $P = 0,173$), sem efeito de ambiente dentro de cada grupo ($P > 0,05$). Comportamento semelhante foi registrado nas sobras (20,50 no A-AF e 22,00% no A-BF sob sol; 20,20 e 21,90% sob sombra; $P > 0,05$).

No crescimento, os valores ofertados permaneceram próximos entre os grupos (19,90 no C-AF e 18,70% no C-BF sob sol; 20,40 e 18,60% sob sombra; $P = 0,218$ e $P = 0,066$, respectivamente), com efeito de ambiente apenas no C-AF, que apresentou maior valor sob sombra em comparação ao sol ($P = 0,006$). As sobras também não diferiram entre grupos ou ambientes (16,20 no C-AF e 16,30% no C-BF sob sol; 16,70 e 16,30% sob sombra; $P > 0,05$).

Na terminação, as diferenças tornaram-se mais evidentes na dieta ofertada sob sol (16,10 no T-AF e 13,50% no T-BF; $P = 0,049$), enquanto sob sombra os valores foram semelhantes (16,80 e 14,70%; $P = 0,134$). Verificou-se ainda efeito de ambiente em ambos os grupos, com maior FDNfe sob sombra ($P = 0,001$). Nas sobras, não houve diferença entre grupos (11,30 no T-AF e 11,80% no T-BF sob sol; 11,80 e 12,00% sob sombra; $P > 0,05$), embora no T-AF tenha sido observado maior valor sob sombra ($P = 0,043$).

O consumo de energia líquida de ganho (ELg) variou entre fases e grupos. Na fase de adaptação, não houve diferenças entre grupos, tanto sob sol (1,06 e 1,05 Mcal/kg MS no A-AF e A-BF, respectivamente; $P = 0,614$) quanto sob sombra (1,06 e 1,02 Mcal/kg MS; $P = 0,122$), e não se verificou efeito de ambiente dentro de cada grupo ($P > 0,05$). No crescimento, o C-AF apresentou maior consumo em relação ao C-BF, tanto sob sol (1,05 e 1,02 Mcal/kg MS; $P = 0,008$) quanto sob sombra (1,08 e 1,02 Mcal/kg MS; $P = 0,001$), com destaque para o efeito ambiental dentro do C-AF, onde os valores foram superiores sob sombra ($P < 0,001$), enquanto no C-BF não houve variação ($P = 0,552$). Na terminação, os valores absolutos foram mais elevados que nas fases anteriores, porém sem diferenças significativas entre grupos (1,34 e 1,31 Mcal/kg MS sob sol; $P = 0,359$; 1,37 e 1,32 Mcal/kg MS sob sombra; $P = 0,216$); ainda assim, verificaram-se maiores consumos sob sombra em ambos os grupos (T-AF: $P < 0,001$; T-BF: $P = 0,003$).

O consumo de matéria seca (CMS) apresentou diferenças associadas principalmente ao ambiente, enquanto os grupos nutricionais se mantiveram estáveis em todas as fases do confinamento. Nas fases de adaptação e crescimento, tanto o A-AF quanto o C-AF apresentaram menores valores sob sombra em comparação ao sol (10,80 e 10,90 kg/dia na adaptação, $P = 0,017$; 11,50 e 11,80 kg/dia no crescimento, $P < 0,001$), enquanto o A-BF e o C-BF mantiveram valores semelhantes entre ambientes (11,10 kg/dia para ambos na adaptação, $P = 0,884$; 12,00 e 12,10 kg/dia no crescimento, $P = 0,062$), sem diferenças significativas entre grupos ($P > 0,05$). Na terminação, embora também não houvesse diferenças entre grupos ($P > 0,05$), verificou-se redução do CMS sob sombra em ambos os grupos, com valores de 10,30 contra 10,50 kg/dia no T-AF e de 10,70 contra 10,90 kg/dia no T-BF ($P < 0,001$ para ambos).

Tabela 4. Índice de seleção (IS), conforme as peneiras do Separador de Partículas de Penn State (PSPS); porcentagem de fibra em detergente neutro fisicamente efetiva (FDNfe) na ração ofertada e nas sobras; e consumos de energia líquida de ganho (ELg) e de matéria seca (CMS), avaliados sob condições de sol e sombra, nas dietas correspondentes às fases de adaptação, crescimento e terminação.

Parâmetro	Local	A-AF ¹	A-BF ²	P-valor	C-AF ³	C-BF ⁴	P-valor	T-AF ⁵	T-BF ⁶	P-valor
IS - %										
19 mm	Sol	101,00 ± 0,18	100,70 ± 0,45	0,546	101,50 ± 0,16	100,8 ± 0,42	0,094	102,4 ± 0,23	102,1 ± 0,45	0,671
	Sombra	100,30 ± 0,19	100,50 ± 0,37	0,699	101,00 ± 0,17	100,9 ± 0,42	0,872	102,7 ± 0,22	102,5 ± 0,44	0,719
	P-valor	0,017	0,757		0,016	0,847		0,255	0,530	
8 mm	Sol	100,40 ± 0,05	100,10 ± 0,13	0,098	100,80 ± 0,09	100,3 ± 0,23	0,042	101,4 ± 0,12	101,0 ± 0,25	0,149
	Sombra	100,2 ± 0,06	100,20 ± 0,11	0,533	100,70 ± 0,09	100,3 ± 0,23	0,071	101,5 ± 0,12	101,4 ± 0,25	0,605
	P-valor	0,094	0,845		0,482	0,922		0,625	0,332	
4 mm	Sol	99,69 ± 0,06	99,90 ± 0,14	0,153	99,78 ± 0,04	99,93 ± 0,12	0,244	99,88 ± 0,09	99,83 ± 0,18	0,807
	Sombra	99,80 ± 0,06	99,92 ± 0,11	0,349	99,83 ± 0,04	99,97 ± 0,12	0,267	100,1 ± 0,09	100,2 ± 0,18	0,569
	P-valor	0,141	0,902		0,436	0,796		0,024	0,027	
Fundo	Sol	99,39 ± 0,14	99,84 ± 0,32	0,188	99,23 ± 0,09	99,82 ± 0,23	0,020	98,58 ± 0,18	99,62 ± 0,36	0,009
	Sombra	99,58 ± 0,14	99,83 ± 0,27	0,412	99,30 ± 0,09	99,84 ± 0,23	0,031	98,39 ± 0,18	99,24 ± 0,36	0,032
	P-valor	0,251	0,972		0,620	0,958		0,299	0,319	
FDNfe - %										
Ofertado	Sol	23,50 ± 0,45	24,40 ± 0,99	0,408	19,90 ± 0,43	18,70 ± 0,83	0,218	16,10 ± 0,64	13,50 ± 1,08	0,049
	Sombra	23,70 ± 0,46	25,10 ± 0,97	0,173	20,40 ± 0,44	18,60 ± 0,82	0,066	16,80 ± 0,67	14,70 ± 1,17	0,134
	P-valor	0,580	0,346		0,006	0,858		0,001	0,001	
Sobra	Sol	20,50 ± 0,44	22,00 ± 1,00	0,165	16,20 ± 0,53	16,30 ± 1,13	0,918	11,30 ± 0,58	11,80 ± 1,21	0,705
	Sombra	20,20 ± 0,44	21,90 ± 0,99	0,125	16,70 ± 0,54	16,30 ± 1,13	0,798	11,80 ± 0,60	12,00 ± 1,22	0,899
	P-valor	0,346	0,849		0,154	0,975		0,043	0,762	
ELg - Mcal/kgMS	Sol	1,06 ± 0,01	1,05 ± 0,02	0,614	1,05 ± 0,01	1,02 ± 0,01	0,008	1,34 ± 0,02	1,31 ± 0,04	0,359
	Sombra	1,06 ± 0,01	1,02 ± 0,02	0,122	1,08 ± 0,01	1,02 ± 0,01	0,001	1,37 ± 0,02	1,32 ± 0,04	0,216
	P-valor	0,527	0,191		<0,001	0,552		<0,001	0,003	
CMS - kg	Sol	10,90 ± 0,10	11,10 ± 0,21	0,416	11,80 ± 0,20	12,10 ± 0,42	0,445	10,50 ± 0,25	10,90 ± 0,53	0,502
	Sombra	10,80 ± 0,10	11,10 ± 0,21	0,203	11,50 ± 0,20	12,00 ± 0,41	0,270	10,30 ± 0,25	10,70 ± 0,51	0,542
	P-valor	0,017	0,884		<0,001	0,062		<0,001	<0,001	

¹ A-AF = Adaptação - Alta Forragem. ² A-BF = Adaptação - Baixa Forragem. ³ C-AF = Crescimento - Alta Forragem. ⁴ C-BF = Crescimento - Baixa Forragem. ⁵ T-AF = Terminação - Alta Forragem. ⁶ T-BF = Terminação - Baixa Forragem. Valores médios de n amostral para os grupos A-AF, A-BF, C-AF, C-BF, T-AF, T-BF: 12, 3, 27, 4, 65, 16, respectivamente. P: nível de significância (P < 0,05).

4. DISCUSSÃO

Os resultados obtidos indicam que a estrutura física das dietas exerceu influência marcante sobre o comportamento ingestivo dos bovinos confinados, particularmente no que se refere à seletividade alimentar por classes de partículas. De forma geral, os grupos com maior proporção de forragem (A-AF, C-AF e T-AF) apresentaram maior retenção de partículas nas peneiras superiores (19 e 8 mm), configurando dietas com elevada efetividade física, reconhecidamente associadas à estimulação da mastigação, à maior produção de saliva e à estabilidade do ambiente ruminal (Zebeli et al., 2012). Em contrapartida, os grupos com menor inclusão de forragem (A-BF, C-BF e T-BF) concentraram maior proporção de partículas finas e intermediárias, especialmente nas frações de 4 mm e fundo, evidenciando menor complexidade físico-estrutural.

O padrão de seletividade alimentar refletiu diretamente essa conformação física. Houve consumo preferencial das partículas retidas nas peneiras de 19 e 8 mm, com índices de seleção superiores a 100% na maioria dos casos, o que indica valorização das frações de maior efetividade física. Essas partículas desempenham um papel crucial na motilidade ruminal e na prevenção de distúrbios fermentativos, sobretudo em dietas com alta densidade energética (Miller-Cushon et al., 2017; Niwa et al., 2023). A ingestão seletiva de partículas estruturadas também pode representar resposta adaptativa frente ao risco de acidose ruminal, especialmente em regimes com elevada proporção de concentrado (Penner et al., 2009; Hartinger et al., 2024).

A ambiência térmica modulou esse comportamento seletivo. Observou-se maior retenção de partículas de 19 mm nas sobras dos grupos A-AF e C-AF sob exposição solar, sugerindo preferência seletiva por partículas mais longas nessas condições. Esse padrão pode estar relacionado a ajustes no manejo da ingestão para mitigar efeitos do estresse térmico, em consonância com Ammer et al. (2017), que relataram redução do tempo de alimentação, da ruminação e do consumo de matéria seca em bovinos expostos a temperaturas elevadas, acompanhada de aumento da frequência respiratória e redução da temperatura ruminal, mesmo sob sobrecarga térmica moderada e sem sinais clínicos aparentes.

Nessa perspectiva, Angel et al. (2018) salientaram que ambientes com alta carga térmica podem induzir alterações no comportamento ingestivo, como mudanças no ritmo de alimentação e aumento da seletividade, como resposta adaptativa para reduzir o calor metabólico oriundo da fermentação ruminal. De forma convergente, Miller-Cushon et al. (2019) demonstraram que vacas Holandesas submetidas a estresse térmico agudo (Índice de Temperatura e Umidade – ITU, valor médio de 77,6) intensificaram a seletividade por partículas longas (> 19 mm) e evitaram partículas médias e curtas, comportamento associado ao aumento da temperatura corporal e da frequência respiratória.

Os achados deste estudo, portanto, reforçam a hipótese de que a maior ingestão de partículas de elevada efetividade física pode constituir uma estratégia de autorregulação ruminal frente ao estresse térmico, favorecendo a salivação, o tamponamento do pH e a manutenção da homeostase fermentativa (Zhang et al., 2025; Zebeli et al., 2012). Esse padrão foi mais evidente nas fases iniciais do confinamento, quando havia maior disponibilidade dessas partículas. Já na terminação, observou-se comportamento seletivo mais uniforme entre os grupos, possivelmente em função da menor diversidade estrutural das dietas.

A fibra em detergente neutro fisicamente efetiva (FDNfe) apresentou redução progressiva ao longo do confinamento, acompanhando a diminuição da inclusão de volumosos. Na fase de adaptação, embora as dietas diferissem quanto à composição de ingredientes, a FDNfe das dietas ofertadas não variou entre grupos, indicando potencial equivalente de estímulo físico. No crescimento, o grupo C-AF apresentou maior FDNfe ofertada sob sombra ($P = 0,006$), sem diferenças nas sobras, sugerindo melhor aproveitamento das partículas estruturadas. Já na terminação, a FDNfe foi superior no grupo T-AF em relação ao T-BF sob sol ($P = 0,049$), com sobras semelhantes entre grupos, evidenciando consumo efetivo da fração mais estruturada. Segundo Zhou et al., (2022) e Heering et al., (2023) a preferência por partículas com maior efetividade física pode estar relacionada à manutenção da estabilidade ruminal, via estimulação da mastigação e salivação, especialmente em dietas mais concentradas.

De forma complementar, as partículas de menor tamanho, especialmente aquelas retidas na peneira de 4 mm e na fração de fundo, foram consistentemente recusadas, sendo esta última associada aos menores índices

de seleção em todas as fases. Esse padrão foi particularmente evidente nos grupos com maior inclusão de forragem (C-AF e T-AF), apesar de a proporção dessas partículas não diferir significativamente entre grupos, exceto na fase de crescimento sob sombra, quando o grupo C-BF apresentou maior percentual na fração de fundo. Isso sugere que a rejeição seletiva está menos associada à quantidade ofertada e mais vinculada a características físico-funcionais, como baixa capacidade de estimulação mecânica e alta taxa de fermentação. Partículas muito pequenas tendem a transitar rapidamente pelo trato digestivo, sem estímulo adequado à mastigação e salivação, comprometendo a estabilidade ruminal (Zebeli e Metzler-Zebeli, 2012). Assim, a recusa dessas frações parece refletir estratégia adaptativa para priorizar componentes com maior funcionalidade ruminal, especialmente em dietas mais concentradas.

Na fase de terminação, a menor proporção de partículas estruturadas, em especial na peneira de 8 mm, possivelmente reduziu as oportunidades para expressão do comportamento seletivo. Como não foram verificadas diferenças entre grupos nas peneiras de 19, 8 e 4 mm, a menor diversidade granulométrica ofertada parece ter limitado as escolhas, conduzindo a um consumo mais condicionado pela disponibilidade física da dieta do que por preferências seletivas. De forma semelhante, Izadbakhsh et al. (2024), ao avaliar bezerras leiteiras sob estresse térmico moderado, observaram que dietas com baixa efetividade física levaram a ajustes seletivos conforme as opções disponíveis, reduzindo a rejeição de determinadas frações. Em bovinos de corte confinados, Custódio et al. (2016) constataram que, independentemente da fonte de forragem, os animais tendem a manter o consumo de partículas mais longas sempre que disponíveis, evidenciando sua importância funcional. Em conjunto, esses achados reforçam que, embora a ambiência possa modular a seletividade em cenários de maior diversidade física, a composição estrutural da dieta permanece como fator determinante, aspecto que pode ser monitorado e ajustado por meio de ferramentas de zootecnia de precisão.

No que se refere ao consumo de matéria seca (CMS), verificou-se menor ingestão sob sombra nos grupos com maior proporção de forragem, sem prejuízo ao consumo de energia líquida de ganho (ELg). Esse padrão sugere que, em condições de menor carga térmica, os animais mantiveram o desempenho

produtivo mesmo com ingestão reduzida, possivelmente pela menor exigência energética de manutenção. Em sistemas tropicais de confinamento, Woo et al. (2024) observaram que a associação de sombreamento e ventilação aumentou o ganho de peso e a eficiência alimentar sem elevação do CMS, atribuindo tal efeito à menor demanda energética para dissipação de calor. De forma semelhante, Castro-Pérez et al. (2020) relataram que o sombreamento potencializou o aproveitamento da energia dietética e o desempenho animal pela atenuação da carga térmica, permitindo que maior proporção da energia metabolizável fosse direcionada à produção.

A integração entre dieta, ambiência e comportamento ingestivo foi analisada por meio de abordagem multivariada, com aplicação de agrupamento hierárquico para classificar as dietas em grupos nutricionais mais homogêneos quanto à estrutura física e ao teor energético. Essa estratégia reduziu a heterogeneidade derivada da origem experimental dos dados e das múltiplas variáveis operacionais envolvidas, permitindo interpretações mais consistentes. Segundo Matzhold et al., (2024) e McFadden et al., (2025) tal aplicação insere-se no escopo da zootecnia de precisão, que utiliza técnicas estatísticas avançadas e integração de dados heterogêneos para subsidiar decisões nutricionais e de manejo

Nesse sentido, Okon et al. (2023) demonstraram que técnicas de agrupamento podem identificar padrões funcionais entre ingredientes com diferentes características nutricionais e estruturais, mesmo sem similaridade de origem ou composição. Essa reclassificação funcional, baseada em propriedades físicas e fermentativas, amplia a interpretação nutricional e auxilia no monitoramento da seletividade e da eficiência. Em sistemas com variabilidade na formulação, como nos confinamentos comerciais, tal abordagem pode apoiar ajustes mais precisos no manejo.

Embora, neste estudo, o agrupamento hierárquico tenha sido empregado apenas como ferramenta descritiva para reduzir a heterogeneidade e organizar as dietas conforme características estruturais e energéticas, os resultados demonstram que essa abordagem pode servir como base para aplicações mais avançadas no contexto da zootecnia de precisão. Ao evidenciar que determinados grupos de dieta compartilham comportamentos semelhantes

de seletividade e consumo sob diferentes condições térmicas, abre-se a possibilidade de que, em estudos futuros ou em sistemas comerciais, novas formulações sejam comparadas a esses grupos previamente caracterizados. Assim, caso apresentem semelhança com grupos historicamente associados a maior rejeição de partículas finas, menor FDNfe efetivamente consumida ou maior sensibilidade ao estresse térmico, ajustes preventivos poderiam ser realizados antes da manifestação de distúrbios nutricionais ou queda de desempenho. Nesse sentido, o agrupamento não se restringe à interpretação retrospectiva dos dados, mas pode evoluir para um componente de sistemas preditivos e de apoio à decisão, especialmente se integrado a indicadores já consolidados na literatura, como FDNfe mínima, distribuição granulométrica no PSPS e variações no IS associadas à instabilidade ruminal.

5. CONCLUSÃO

Dietas com maior inclusão de forragem apresentaram, em geral, maiores proporções de partículas longas e médias, associadas a índices de seleção acima de 100%, enquanto as partículas finas e a fração de fundo foram, na maioria dos casos, recusadas. O comportamento seletivo foi pouco influenciado pelo ambiente, ao passo que o consumo de matéria seca apresentou maior sensibilidade às condições térmicas, com reduções sob sombra nos grupos de maior inclusão de volumosos, sem comprometer o consumo de energia líquida de ganho. Diferenças pontuais na FDNfe refletiram a composição estrutural das dietas e não o efeito direto da ambiência. Evidencia-se, portanto, que a análise de agrupamento hierárquico constitui uma ferramenta eficiente para a zootecnia de precisão, pois consegue integrar de forma acurada dados provenientes de diferentes experimentos e identificar padrões seletivos distintos entre grupos e fases, oferecendo aos confinamentos comerciais um adequado suporte no manejo nutricional das dietas, sustentado em planos nutricionais consistentes e economicamente atrativos.

6. REFERÊNCIAS

- Aquilani, C., Confessore, A., Bozzi, R., Sirtori, F., Pugliese, C., 2022. Precision Livestock Farming technologies in pasture-based livestock systems. *Anim.* 16, 100429. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100429>.
- Ammer, S., Lambertz, C., von Soosten, D., Zimmer, K., Meyer, U., Dänicke, S., Gauly, M., 2017. Impact of diet composition and temperature–humidity index on water and dry matter intake of high-yielding dairy cows. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 102, 103–113. <https://doi.org/10.1111/jpn.12664>.
- Angel, S.P., Rashamol, V.P., Pai, A.J., Das, V.G., Mohammed, F.A., Kumar, A., Anil, K.S., Sejian, V., 2018. Climate change and cattle production: Impact and adaptation. *J. Vet. Med. Res.* 5, 1134. <https://www.researchgate.net/publication/325333916>.
- Bartlett, M.S., 1937. Properties of sufficiency and statistical tests. *Proc. R. Soc. Lond. Ser. A Math. Phys. Sci.* 160, 268–282. <https://doi.org/10.1098/rspa.1937.0109>.
- Brooks, M.E., Kristensen, K., van Benthem, K.J., Magnusson, A., Berg, C.W., Nielsen, A., Skaug, H.J., Mächler, M., Bolker, B.M., 2017. glmmTMB balances speed and flexibility among packages for zero-inflated generalized linear mixed modeling. *R J.* 9, 378–400. <https://journal.r-project.org/archive/2017/RJ-2017-066/index.html>.
- Castro-Pérez, B.I., Estrada-Angulo, A., Ríos-Rincón, F.G., Núñez-Benítez, V.H., Rivera-Méndez, C.R., Urías-Estrada, J.D., Zinn, R.A., Barreras, A., Plascencia, A., 2020. The influence of shade allocation or total shade plus overhead fan on growth performance, efficiency of dietary energy utilization, and carcass characteristics of feedlot cattle under tropical ambient conditions. *Asian-Australas. J. Anim. Sci.* 33, 1034–1041. <https://doi.org/10.5713/ajas.19.0112>.
- Curtis, A.E., Smith, T.A., Zynganshin, B.A., Elefteriades, J.A., 2016. The Mystery of the Z-Score. *Aorta* 4, 124–130. <https://www.thieme-connect.com/products/ejournals/pdf/10.12945/j.aorta.2016.16.014.pdf>.
- Custódio, S.A.S., Cláudio, F.L., Alves, E.M., Calgaro Júnior, G., Paim, T.P., Carvalho, E.R., 2016. Seleção de partículas da dieta de bovinos de corte em confinamento alimentados com diferentes forragens e alojados em baias

- individuais ou coletivas. *J. Anim. Behav. Biometeorol.* 4, 55–64.
<https://doi.org/10.14269/2318-1265/jabb.v4n2p55-64>.
- Daltro, A.M., Bettencourt, A.F., Ximenes, C.A.K., Daltro, D.S., Pinho, A.P.S., 2020. Estresse térmico em vacas leiteiras: efeitos sobre o consumo e a produção de leite. *Pesqui. Agropecu. Gaúcha* 26, 288–311.
<https://doi.org/10.36812/pag.2020261288-311>.
- Dias, J.D.L., Silva, R.B., Fernandes, T., Barbosa, E.F., Graças, L.E.C., Araujo, R.C., Pereira, R.A.N., Pereira, M.N., 2018. Yeast culture increased plasma niacin concentration, evaporative heat loss, and feed efficiency of dairy cows in a hot environment. *J. Dairy Sci.* 101, 5924–5936.
<https://doi.org/10.3168/jds.2018-14551>.
- Edwards-Callaway, L.N., Cramer, M.C., Cadaret, C.N., Bigler, E.J., Engle, T.E., Wagner, J.J., Clark, D.L., 2021. Impacts of shade on cattle well-being in the beef supply chain. *J. Anim. Sci.* 99, 1–21. <https://doi.org/10.1093/jas/skaa375>.
- Ferreira, R.R.M., Paim, F.A.P., Rodrigues, V.G.S., Castro, G.S.A., 2020. Análise de cluster não supervisionado em R: agrupamento hierárquico. *Embrapa Territorial*, Campinas, 43 p.
<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1126478/1/5360.pdf>.
- Graczki, G.L., Olias, C., Sauer, A.V., Busnello, F.J., Luz, G.L., Lajús, C.R., 2022. Estresse térmico em vacas leiteiras: Revisão. *PubVet* 16, 1–4.
<https://doi.org/10.31533/pubvet.v16n03a1065.1-4>.
- Harterting, T., Castillo-Lopez, E., Reisinger, N., Zebeli, Q., 2024. Elucidating the factors and consequences of the severity of rumen acidosis in first-lactation Holstein cows during transition and early lactation. *J. Anim. Sci.* 102, 1–15.
<https://doi.org/10.1093/jas/skae041>.
- Heering, R., Baumont, R., Selje-Aßmann, N., Dickhoefer, U., 2023. Effect of physically effective fibre on chewing behaviour, ruminal fermentation, digesta passage and protein metabolism of dairy cows. *J. Agric. Sci.* 161, 720–733.
<https://doi.org/10.1017/S0021859623000539>.
- Heinrichs, J., Jones, C.M., 2022. Penn state particle separator: The forage and TMR particle separator was designed to help in determining the correct forage

particle length needed to improve ruminant nutrition. Penn State Extension: College of Agricultural Sciences, The Pennsylvania State University.

Izadbakhsh, M.-H., Hashemzadeh, F., Alikhani, M., Ghorbani, G.-R., Khorvash, M., Heidari, M., Ghaffari, M.H., Ahmadi, F., 2024. Effects of dietary fiber level and forage particle size on growth, nutrient digestion, ruminal fermentation, and behavior of weaned Holstein calves under heat stress. *Animals* 14, 275. <https://doi.org/10.3390/ani14020275>.

Kleen, J.L., Guatteo, R., 2023. Precision Livestock Farming: What does it contain and what are the perspectives? *Animals*. 13, 779. <https://doi.org/10.3390/ani13050779>.

Lofgreen, G.P., Garrett, W.N., 1968. A system for expressing net energy requirements and feed values for growing and finishing beef cattle. *J. Anim. Sci.* 27, 793–806. <https://doi.org/10.2527/jas1968.273793x>.

Matzhold, C., Schodl, K., Klimek, P., Steininger, F., Egger-Danner, C., 2024. A key-feature-based clustering approach to assess the impact of technology integration on cow health in Austrian dairy farms. *Front. Anim. Sci.* 5, 1421299. <https://doi.org/10.3389/fanim.2024.1421299>.

McFadden, L., Menendez, H., Ehlert, K., Brennan, J., Parsons, I.L., Olson, K., 2025. Integrating multiple precision livestock technologies to advance rangeland grazing management. *Front. Vet. Sci.* 12, 1625448. <https://doi.org/10.3389/fvets.2025.1625448>.

Mertens, D.R., 1997. Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 80, 1463–1481. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(97\)76075-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(97)76075-2).

Miller-Cushon, E.K., Dayton, A.M., Horvath, K.C., Monteiro, A.P.A., Weng, X., Tao, S., 2019. Effects of acute and chronic heat stress on feed sorting behaviour of lactating dairy cows. *Animal* 13, 2044–2051. <https://doi.org/10.1017/S1751731118003762>.

Miller-Cushon, E.K., DeVries, T.J., 2017. Feed sorting in dairy cattle: Causes, consequences, and management. *J. Dairy Sci.* 100, 4172–4183. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11983>.

National Research Council (NRC), 1984. Nutrient requirements of beef cattle, sixth ed. National Academy Press, Washington, D.C.

- Niwa, M.V.G., Ítavo, L.C.V., Ítavo, C.C.B.F., Dias, A.M., Difante, G.S., Longhini, V.Z., Gomes, R.C., Vedovatto, M., Gurgel, A.L.C., Moraes, G.J., Monteiro, G.O.A., 2023. Effect of physically effective neutral detergent fiber on nutrient intake and digestibility, ruminal and blood parameters, and ingestive behavior of confined beef cattle. *Trop. Anim. Health Prod.* 55, 224. <https://doi.org/10.1007/s11250-023-03633-0>.
- Okon, P., Bachmann, M., Wensch-Dorendorf, M., Titze, N., Rodehutsord, M., Rupp, C., Susenbeth, A., Greef, J.M., Zeyner, A., 2023. Feed clusters according to in situ and in vitro ruminal crude protein degradation. *Animals* 13, 224. <https://doi.org/10.3390/ani13020224>.
- Pacheco, R.D.L., Oliveira Gusmão, J., Moura, G.A., Capelari, M., Greco, L., Carvalho, J.C.F., Cervieri, R.C., Castro, P.A., Alencar Beserra, V., Campanelli, V.P.C., Cabral, L.S., Carvalho, L.B., Lanna, D.P.D., Neto, M.C., Galyean, M., Maia, A.S.C., 2023. Lysolecithin-derived feed additive improves feedlot performance, carcass characteristics, and muscle fatty acid profile of *Bos indicus*-influenced cattle fed in a tropical environment. *Front. Vet. Sci.* 10, 1041479. <https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1041479>.
- Penner, G.B., Taniguchi, M., Guan, L.L., Beauchemin, K.A., Oba, M., 2009. Effect of dietary forage to concentrate ratio on volatile fatty acid absorption and the expression of genes related to volatile fatty acid absorption and metabolism in ruminal tissue. *J. Dairy Sci.* 92, 2767–2781. <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1716>.
- Razali, N., Wah, Y.B., 2011. Power comparisons of Shapiro–Wilk, Kolmogorov–Smirnov, Lilliefors and Anderson–Darling tests. *J. Stat. Model. Anal.* 2, 21–33. https://www.academia.edu/105326283/Power_comparisons_of_Shapiro_Wilk_Kolmogorov_Smirnov_Lilliefors_and_Anderson_Darling_test.
- Riley, R.D., Lambert, P.C., Abo-Zaid, G., 2010. Meta-analysis of individual participant data: Rationale, conduct, and reporting. *BMJ* 340, c221. <https://doi.org/10.1136/bmj.c221>.
- Sacarrão-Birrento, L., Harrison, L.J.S., Pienaar, R., Toka, F.N., Torres-Acosta, J.F.J., Vilela, V.L.R., Hernández-Castellano, L.E., Arriaga-Jordán, C.M., Soltan, Y.A., Ungerfeld, R., Özkan, S., Van Harten, S., Ferlizza, E., Rossiter, P., Patra, A.K., Gunal, A.C., Bianchi, C.P., Starič, J., Lach, G., Almeida, A.M.,

2024. Challenges for animal health and production in the Tropics and Mediterranean for the next 55 years. *Trop. Anim. Health Prod.* 56, 381. <https://doi.org/10.1007/s11250-024-04212-7>.
- Sejian, V., Bhatta, R., Gaughan, J.B., Dunshea, F.R., Lacetera, N., 2018. Review: Adaptation of animals to heat stress. *Animal* 12, s431–s444. <https://doi.org/10.1017/S1751731118001945>.
- Woo, J.S., Lee, N.K., Lee, H.G., Park, K.K., 2024. Effects of heat stress on performance, physiological parameters, and blood profiles of early-fattening Hanwoo steers in climate chambers. *Anim. Biosci.* 37, 142–150. <https://doi.org/10.5713/ab.23.0274>.
- Zebeli, Q., Aschenbach, J.R., Tafaj, M., Boguhn, J., Ametaj, B.N., Drochner, W., 2012. Invited review: Role of physically effective fiber and estimation of dietary fiber adequacy in high-producing dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 95, 1041–1056. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4421>.
- Zebeli, Q., Metzler-Zebeli, B.U., 2012. Interplay between rumen digestive disorders and diet-induced inflammation in dairy cattle. *Res. Vet. Sci.* 93, 1099–1108. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2012.02.004>.
- Zhang, X., Liu, X., Xie, K., Pan, Y., Liu, F., Hou, F., 2025. Effects of different fiber levels of energy feeds on rumen fermentation and the microbial community structure of grazing sheep. *BMC Microbiol.* 25, 180. <https://doi.org/10.1186/s12866-024-03644-3>.
- Zhou, J., Xue, B., Hu, A., Yue, S., Wu, M., Hong, Q., Wu, Y., Wang, Z., Wang, L., Peng, Q., Xue, B., 2022. Effect of dietary peNDF levels on digestibility and rumen fermentation, and microbial community in growing goats. *Front. Microbiol.* 13, 950587. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.950587>.
- Zinn, R.A., Shen, Y., 1998. An evaluation of ruminally degradable intake protein and metabolizable amino acid requirements of feedlot calves. *J. Anim. Sci.* 76, 1280–1289. <https://doi.org/10.2527/1998.7651280x>.

CAPÍTULO 4- NOTA TÉCNICA: SELETIVIDADE ALIMENTAR, CONSUMO E TECNOLOGIA, INTEGRANDO CIÊNCIA E MANEJO NO CONFINAMENTO

Este capítulo apresenta uma nota técnica, elaborada com o propósito de aproximar os resultados da pesquisa à realidade do campo. A redação do documento foi realizada em conformidade com as normas editoriais estabelecidas pela revista do Conselho Federal de Medicina Veterinária (CFMV).

SELETIVIDADE, CONSUMO E TECNOLOGIA: INTEGRANDO CIÊNCIA AO MANEJO NO CONFINAMENTO

Conrado Pedrosa Fragoso Carvalho^{1*}, ...

¹Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Aquidauana, MS, Brasil, 79200-000

*Autor para correspondência: conradozootec@gmail.com

Da teoria até a boca do boi: o que é realmente consumido?

Quando formulamos uma dieta para o confinamento, definimos a quantidade de nutrientes necessária para atender às exigências do animal, como proteína, energia e fibra. No papel, tudo parece equilibrado. Porém, no momento do consumo, o que o boi realmente ingere pode ser diferente do planejado. Isso ocorre porque os bovinos não se alimentam de maneira uniforme, eles tendem a selecionar ingredientes ou tamanhos de partícula conforme a palatabilidade, a facilidade de mastigação.

Esse comportamento, conhecido como seletividade alimentar, pode afastar a dieta efetivamente ingerida daquela originalmente formulada, comprometendo o fornecimento real de nutrientes e afetando a eficiência produtiva. Em alguns casos, a seletividade reduz a ingestão de fibra efetiva, aumenta o risco de distúrbios ruminais e altera o equilíbrio energético da dieta.

Assim, compreender esse processo é essencial para corrigir falhas de formulação, ajustar a granulometria dos ingredientes e garantir que o animal consuma a dieta conforme o planejado. No entanto, identificar o que está acontecendo exige mais do que observação direta, sendo necessário interpretar dados, revisar registros passados, identificar padrões e investigar causas. É

nesse ponto que a tecnologia se torna indispensável, transformando números dispersos em conhecimento aplicado para aprimorar o manejo.

Do cocho para o computador: como interpretar o consumo?

No dia a dia do confinamento, uma grande quantidade de informações é gerada, como a composição bromatológica e granulométrica da dieta, as quantidades ofertadas, sobras diárias, registros de consumo, desempenho dos lotes, condições climáticas e variações de manejo. Se esses dados não forem organizados e analisados, perdem valor e deixam de revelar sinais que poderiam orientar decisões importantes e mais precisas.

Desta forma, interpretar o consumo vai além de observar o cocho. É preciso transformar registros e medições em conhecimento aplicável, analisando dados, identificando padrões e compreendendo as relações entre dieta, ambiente e comportamento alimentar. Com essa perspectiva, utilizando-se dados de confinamentos comerciais, da empresa Campanelli, localizada no município de Altair/SP, análises de agrupamento hierárquico foram utilizadas como ferramenta de zootecnia de precisão para identificar quais eram os principais fatores responsáveis pela seletividade alimentar.

Essa técnica reuniu as dietas em grupos com características nutricionais semelhantes, permitindo observar tendências de forma mais clara e reduzir a dispersão das informações. Assim, em vez de avaliar cada dieta isoladamente, a formação dos grupos revelou padrões de seletividade que poderiam passar despercebidos em análises individuais.

E o que os dados revelam sobre a seletividade?

Ao cruzar a análise de agrupamento com os dados coletados no confinamento, ficou evidente que a dieta formulada nem sempre é a mesma que, de fato, chega ao trato digestivo do boi. Essa abordagem permitiu identificar dois cenários bem definidos, um com dietas apresentando uma maior proporção de forragem e a outra dietas com menor proporção de forragem. Essa distinção facilitou a visualização de padrões de consumo e de seleção, permitindo compreender de forma mais precisa como a composição física da dieta influencia as escolhas alimentares dos animais.

Nas dietas mais ricas em forragem, a maior parte do volume ofertado estava concentrada em partículas grandes e médias, que exigem mais mastigação, aumentam a salivação e favorecem a ruminação. Os animais consumiram essas partículas em proporção maior que a prevista e deixaram no cocho parte das frações menores. Esse comportamento, além de alterar a composição efetivamente ingerida, resultou em desperdício de ingredientes, cujo valor agregado na formulação pode representar um impacto econômico, sobretudo quando as sobras precisaram ser descartadas ou demandaram manejo adicional.

Já nas dietas com menor participação de forragem, predominavam partículas finas de rápida fermentação, mas também havia partículas maiores formuladas para estimular a ruminação que, por baixa palatabilidade, foram recusadas. Na prática, os animais priorizaram as partículas finas e deixaram as grosseiras no cocho, reduzindo o consumo de fibra efetiva. Esse padrão pode aumentar o risco de desequilíbrios digestivos, como a queda do pH ruminal e oscilações no apetite, comprometendo o ganho de peso e a eficiência alimentar.

Além da seletividade, o que o consumo também revelou?

Observou-se que a variação no consumo dos animais acompanhou as mudanças na formulação das dietas e nas fases do confinamento. Assim, nas etapas iniciais, quando o teor de forragem era maior, os animais ingeriram volumes mais altos de alimentos, comportamento esperado em dietas menos concentradas em energia e mais estruturadas fisicamente. Já nas fases de crescimento e terminação, a redução da participação de volumosos resultou em menor consumo, mesmo com dietas mais densas energeticamente.

O agrupamento hierárquico foi decisivo para tornar esse padrão mais visível. Ao organizar as dietas em grupos nutricionais mais homogêneos, a análise mostrou que a resposta no consumo não era aleatória, mas seguia tendências consistentes dentro de cada grupo. Isso permite diferenciar variações naturais, como as provocadas por ajustes rotineiros no manejo, de alterações que sinalizam possíveis problemas, como reduções acima do esperado para determinada fase ou tipo de dieta.

Para o produtor, essa constatação é valiosa, pois não basta saber quanto o animal está comendo, é preciso entender como a composição física e a etapa produtiva influenciam esse volume e se ele está compatível com a meta de desempenho. Ao associar medições simples de consumo diário com análises mais estruturadas, como o agrupamento hierárquico, é possível antecipar ajustes de granulometria, frequência de trato e manejo de cocho antes que quedas de consumo comprometam o ganho de peso.

Como a sombra pode influenciar?

Nos animais Nelore o sombreamento influenciou o consumo dos animais de maneira distinta conforme a fase do confinamento e o tipo de dieta. Nos grupos com maior participação de volumosos, especialmente nas fases de adaptação e crescimento, foi registrada redução no consumo sob sombra. Apesar dessa diminuição, a ingestão de energia líquida de ganho manteve-se estável ou apresentou variações discretas, sugerindo que o conforto térmico pode favorecer melhor aproveitamento da energia ingerida, mesmo sem aumento no volume consumido.

Em condições de maior carga térmica, grupos com maior teor de forragem apresentaram seletividade levemente direcionada a partículas mais longas e estruturadas. Essa escolha pode contribuir para a estabilidade ruminal, pois prolonga o tempo de mastigação e estimula a produção de saliva, ajudando a tamponar o pH do rúmen e a reduzir riscos de distúrbios digestivos.

De forma geral, em animais Nelore a ambiência térmica teve pouco efeito sobre a seletividade e no consumo dos animais. Isso indica que, embora o ambiente possa modular preferências alimentares em situações específicas, a composição física e o manejo da dieta continuam sendo os principais determinantes da quantidade de alimento ingerido.

Da boca do boi ao bolso do produtor: o que fica de aprendizado?

O que fica claro é que a dieta planejada no papel nem sempre é a mesma que o animal consome no cocho. A seletividade e o padrão de ingestão podem modificar de forma relevante a composição efetivamente ingerida, com reflexos diretos na eficiência do lote.

Outro ponto essencial é que a qualidade física e nutricional dos ingredientes pesa tanto quanto o balanceamento nutricional. Partículas grandes de baixa palatabilidade tendem a ser recusadas, mesmo quando representam a principal fonte de fibra efetiva, comprometendo o estímulo à mastigação e a estabilidade ruminal.

Por fim, a incorporação da tecnologia do agrupamento hierárquico e a análise sistemática dos dados coletados na rotina do confinamento, representa uma vantagem estratégica. Essas ferramentas estatísticas permitem identificar padrões de seleção, ajustar a formulação com maior precisão e otimizar o manejo alimentar, garantindo melhor aproveitamento dos insumos e maior retorno econômico. No empreendimento, compreender o que realmente percorre o caminho “da boca do boi ao bolso do produtor” é transformar dados em decisões e decisões em resultados.

CAPÍTULO 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente Dissertação reuniu dados provenientes de múltiplos experimentos conduzidos sob protocolos metodológicos homogêneos, integrando informações nutricionais e ambientais que permitiram avaliar de maneira inédita a seletividade alimentar de bovinos mantidos em regime de confinamento em condições tropicais. Assim, por meio da aplicação de meta-análise interna e agrupamento hierárquico, foram caracterizados grupos nutricionais distintos, definidos pela proporção de forragem e densidade energética, e analisadas suas respostas ingestivas ao longo das fases de adaptação, crescimento e terminação. Essa abordagem multivariada insere-se no escopo da zootecnia de precisão, pois permite a interpretação integrada de variáveis heterogêneas e a identificação de padrões consistentes de comportamento alimentar.

Os resultados do primeiro artigo demonstraram que a estrutura física da dieta, especialmente a proporção de partículas retidas nas peneiras de 19 e 8 mm do Separador de Partículas de Penn State (PSPS), esteve diretamente associada à seletividade alimentar e ao consumo. Dietas com maior inclusão de forragem e maior teor de fibra em detergente neutro fisicamente efetiva (FDNfe) estimularam a ingestão seletiva de partículas de maior granulometria, resultando

em índices de seleção superiores a 100%, maior consumo de matéria seca (CMS) e ingestão de energia líquida de ganho (ELg). Em contrapartida, dietas menos estruturadas apresentaram predominância de partículas finas, menor aproveitamento da fração fibrosa e maior vulnerabilidade a distúrbios fermentativos, especialmente na fase de adaptação. O uso do agrupamento hierárquico mostrou-se eficaz para identificar esses padrões, mesmo diante de variações inerentes aos experimentos.

O segundo artigo incorporou a variável ambiência térmica como fator adicional de análise, avaliando bovinos nelore mantidos sob sol ou sombra. A composição física da dieta manteve-se como o principal determinante da seletividade, mas a ambiência exerceu influência pontual, sobretudo nas fases iniciais. Observou-se, em alguns casos, intensificação da ingestão de partículas longas sob exposição solar, possivelmente como resposta adaptativa para manter a estabilidade ruminal. Já o CMS foi mais sensível às condições térmicas, com reduções sob sombra nos grupos de maior inclusão de volumosos, sem comprometer o consumo de ELg, efeito compatível com menor exigência energética de manutenção em ambientes termicamente atenuados. A integração de variáveis físicas, nutricionais e ambientais, associada ao uso do agrupamento hierárquico, confirmou o potencial dessa abordagem para monitorar e ajustar estratégias nutricionais em confinamentos comerciais.

A análise conjunta dos dois estudos reforça que a seletividade alimentar é modulada por um tripé de fatores. A estrutura física da dieta, que determina a diversidade e a disponibilidade de partículas funcionalmente relevantes ao rúmen; a palatabilidade e qualidade nutricional dos ingredientes, capazes de modificar preferências de consumo mesmo diante de oferta física adequada; e as condições ambientais, que podem ajustar o padrão ingestivo e a intensidade da seletividade, embora seu efeito seja secundário frente à composição estrutural.

No contexto prático, esses achados evidenciam que monitorar e ajustar a granulometria da dieta ofertada e das sobras deve ser parte integrante do manejo alimentar, utilizando ferramentas como o Separador de Partículas de Penn State e o cálculo do índice de seleção. A inclusão de volumosos de qualidade e com adequada efetividade física, aliada ao manejo térmico das

instalações, contribui para otimizar o aproveitamento da dieta, reduzir a variabilidade individual de desempenho e mitigar riscos de distúrbios digestivos.

No âmbito metodológico, os resultados obtidos indicam que o agrupamento hierárquico apresenta um grande potencial como ferramenta de zootecnia de precisão para a análise e classificação de dietas em sistemas intensivos. Ao possibilitar a organização funcional de dados experimentais provenientes de condições controladas, essa abordagem amplia a capacidade de interpretar padrões seletivos e de consumo, favorecendo ajustes mais precisos na formulação e no manejo alimentar. Embora sua aplicação rotineira ainda demande validações adicionais e integração com plataformas digitais de monitoramento, a técnica mostrou-se adequada para subsidiar investigações científicas e avaliações técnicas. Entre os desafios enfrentados, destacam-se a variabilidade inerente às dietas comerciais, as limitações na coleta individualizada de dados e a necessidade de compatibilizar informações de múltiplos experimentos em um banco único. Tais aspectos evidenciam a importância de avançar no desenvolvimento de sistemas de monitoramento contínuo, capazes de integrar dados nutricionais, comportamentais e ambientais de forma sistemática.

Como perspectivas, recomenda-se avaliar a seletividade alimentar em ciclos diários, integrando sensores e tecnologias de monitoramento ingestivo, investigar a interação entre diferentes fontes e processamentos de volumosos e seu efeito sobre a efetividade física e a resposta seletiva, ampliar a aplicação de técnicas de agrupamento e outras análises multivariadas para diferentes categorias animais e sistemas de produção, e integrar dados nutricionais, ambientais e comportamentais em plataformas de gestão de precisão, visando otimizar a eficiência produtiva e a sustentabilidade dos confinamentos tropicais. De forma abrangente, os resultados obtidos reafirmam que a formulação nutricional eficiente, o manejo adequado da ambiência e o uso de ferramentas analíticas de precisão são elementos indissociáveis para maximizar a eficiência alimentar e o desempenho de bovinos confinados. A convergência desses eixos representa não apenas um avanço científico, mas também uma oportunidade concreta de aplicação prática para tornar os sistemas intensivos mais produtivos, resilientes e sustentáveis.

APÊNDICE I: Script-modelo R - Agrupamento hierárquico das dietas

Este script em linguagem R foi utilizado para a análise de agrupamento hierárquico dos perfis de dieta avaliados na dissertação. A metodologia baseou-se na normalização dos dados, cálculo de distâncias euclidianas e aplicação do método de Ward, com visualização via dendrograma.

```
# =====
# SCRIPT: 01_agrupamento_hierarquico_dietas.R
# Objetivo: Realizar análise de agrupamento hierárquico das dietas
# Autor: Conrado Carvalho
# Data: 30/05/2025
# Descrição: Este script realiza a leitura da planilha de dados nutricionais,
# normaliza os dados, aplica o método de agrupamento hierárquico de Ward
# e gera o dendrograma com destaque dos grupos formados.
# =====

# -----
# 1. Instalar e carregar pacotes
# -----
if (!require("readxl")) install.packages("readxl", dependencies = TRUE)
if (!require("dendextend")) install.packages("dendextend", dependencies = TRUE)

library(readxl)
library(dendextend)

# -----
# 2. Importar dados
# -----
dados_raw <- read_excel("RESULTADOS/perfil_dieta_analise_1.xlsx", sheet = 1)

# Definir a primeira coluna como nome das amostras
dados <- as.data.frame(dados_raw)
rownames(dados) <- dados[, 1]
dados <- dados[, -1] # Remove a coluna de nomes da matriz de dados

# -----
# 3. Normalizar os dados
# -----
dados_norm <- scale(dados) # Normalização z-score

# -----
# 4. Calcular distâncias e agrupar (Ward)
```

```

# -----
distancia <- dist(dados_norm, method = "euclidean") # Distância Euclidiana
agrupamento <- hclust(distancia, method = "ward.D2") # Método de Ward
dendrograma <- as.dendrogram(agrupamento)

# -----
# 5. Definir número de grupos e colorir ramos
# -----
k <- 6 # Número de grupos desejados
dendrograma <- color_branches(dendrograma, k = k, col = rep("black", k))

# -----
# 6. Visualizar o dendrograma na tela (RStudio)
# -----
dev.new()

plot(dendrograma,
     main = "Dendrograma de Agrupamento Hierárquico",
     cex = 0.9,
     ylab = "Distância Euclidiana (dados normalizados)")

rect.dendrogram(dendrograma, k = k, border = "black", lwd = 2)

# -----
# 7. Exportar dendrograma em alta resolução (TIFF)
# -----
tiff("RESULTADOS/dendrograma_analise_1.tiff", width = 2000, height = 2000,
     res = 300)

plot(dendrograma,
     main = "Dendrograma de Agrupamento Hierárquico",
     cex = 0.9,
     ylab = "Distância Euclidiana (dados normalizados)")

rect.dendrogram(dendrograma, k = k, border = "black", lwd = 2)
dev.off()

# -----
# FIM DO SCRIPT
# -----

```

APÊNDICE II: Script-modelo R - Análises estatísticas do artigo “Seletividade alimentar e granulometria em diferentes perfis de dieta: Impactos na eficiência nutricional de bovinos confinados”

Este script-modelo em linguagem R foi utilizado como estrutura base para todas as análises estatísticas do artigo “Seletividade alimentar e granulometria em diferentes perfis de dieta: impactos na eficiência nutricional de bovinos confinados”, correspondente ao Capítulo 2 da dissertação. As análises incluíram diferentes variáveis de resposta, como o índice de seleção (IS), a distribuição granulométrica da dieta ofertada e das sobras (por peneira do separador de partículas de Penn State), a FDN fisicamente efetiva (FDNfe), o consumo de matéria seca (CMS) e a energia líquida de ganho (ELg). Para cada variável, foi ajustado um modelo misto generalizado (GLMM) com distribuição Gamma e função de ligação log, considerando como fatores fixos o perfil nutricional e a categoria de peso inicial, e como efeito aleatório o bloco experimental.

```
# =====
# SCRIPT-MODELO: Análises GLMM – Artigo sobre seletividade e granulometria
# Objetivo: Estrutura genérica para análise estatística de IS, PSPS, FDNfe, CMS
# e ELg
# Autor: Conrado Carvalho
# Data: 23/10/2024
# =====

# -----
# 1. Carregar pacotes
# -----
library(tidyverse)
library(glmmTMB)
library(emmeans)
library(car)
library(readxl)

# -----
# 2. Importar base de dados
# -----
dados <- read_excel("CAMINHO_DO_ARQUIVO.xlsx") # Substituir pelo
caminho correto
glimpse(dados)
```

```

# -----
# 3. Filtrar por fase e variável de interesse
# -----
# Ex: "ADAP", "CRES", "TERM"
# VARIABEL_RESP: IS, PSPS (ofertado ou sobra), FDNfe, ELg, CMS, etc.

dados_filtrados <- dados %>%
  filter(str_detect(fase, "FILTRO_DE_FASE")) %>%
  filter(!is.na(VARIABEL_RESP))

# -----
# 4. Verificações opcionais (normalidade e variância)
# -----
modelo_aov <- aov(VARIABEL_RESP ~ as.factor(tipo_perfil), data =
dados_filtrados)
residuos <- residuals(modelo_aov)

shapiro.test(residuos)
bartlett.test(residuos, dados_filtrados$tipo_perfil)

# -----
# 5. Ajuste do modelo GLMM (Gamma com link log)
# -----
modelo_glmm <- glmmTMB(VARIABEL_RESP ~ cat_peso + tipo_perfil + (1 |
bloco),
                      data = dados_filtrados,
                      family = Gamma(link = "log"))

summary(modelo_glmm)

# -----
# 6. Análise de variância do modelo
# -----
Anova(modelo_glmm, type = "III", test = "Chisq")

# -----
# 7. Médias ajustadas com emmeans
# -----
cld(emmeans(modelo_glmm, ~ tipo_perfil),
    Letters = letters,
    reversed = TRUE,
    adjust = "sidak")

# Médias na escala original

```

```
emmeans_original <- summary(emmeans(modelo_glmm, ~ tipo_perfil), type =  
"response")  
emmeans_original
```

```
# -----  
# FIM DO SCRIPT-MODELO  
# -----
```

APÊNDICE III: Script-modelo R - Análises estatísticas do artigo “Influência do sol e sombra no comportamento alimentar de bovinos confinados em diferentes perfis dietéticos”

Este script-modelo em linguagem R foi utilizado como base para as análises estatísticas do artigo “Influência do sol e sombra no comportamento alimentar de bovinos confinados alimentados com diferentes dietas”, correspondente ao Capítulo 3 da dissertação. As análises foram conduzidas por meio de modelos mistos generalizados (GLMM) com distribuição Gamma e link log, considerando os efeitos fixos de tipo de perfil nutricional, ambiência térmica (sol ou sombra) e sua interação, além do efeito aleatório de bloco experimental. As variáveis analisadas incluíram o índice de seleção por peneira, a distribuição granulométrica (ofertado e sobra), FDNfe, CMS e ELg.

```
# =====
# SCRIPT-MODELO: Análises GLMM – Artigo sobre sol x sombra
# Objetivo: Estrutura genérica para análise estatística com interação perfil x
# ambiência
# Autor: Conrado Carvalho
# Data: 26/04/2025
# =====

# -----
# 1. Carregar pacotes
# -----
library(tidyverse)
library(glmmTMB)
library(emmeans)
library(car)
library(readxl)

# -----
# 2. Importar base de dados
# -----
dados <- read_excel("CAMINHO_DO_ARQUIVO.xlsx") # Substituir pelo
caminho correto
glimpse(dados)

# -----
# 3. Filtrar por fase e variável de interesse
# -----
```

```
# Filtro por fase ("ADAP", "CRES", "TERM") e por variável (IS, PSPS, ELg,
FDNfe, etc.)
```

```
dados_filtrados <- dados %>%
  filter(str_detect(fase, "FILTRO_DE_FASE")) %>%
  filter(!is.na(VARIAVEL_RESP))
```

```
# -----
```

```
# 4. Modelo GLMM com interação tipo_perfil * local (ambiente)
```

```
# -----
```

```
modelo_glmm <- glmmTMB(VARIAVEL_RESP ~ tipo_perfil * local + (1 | bloco),
  data = dados_filtrados,
  family = Gamma(link = "log"))
```

```
summary(modelo_glmm)
```

```
# -----
```

```
# 5. Análise de variância dos efeitos fixos
```

```
# -----
```

```
Anova(modelo_glmm, type = "III", test = "Chisq")
```

```
# -----
```

```
# 6. Médias ajustadas e contrastes
```

```
# -----
```

```
# Médias ajustadas por combinação tipo_perfil x ambiente
```

```
emmeans_res <- emmeans(modelo_glmm, ~ tipo_perfil * local)
```

```
# Comparação entre perfis dentro de cada ambiente
```

```
contrastes_perfis <- contrast(emmeans_res, interaction = "pairwise", by = "local",
  adjust = "sidak")
```

```
summary(contrastes_perfis)
```

```
# Comparação entre ambientes dentro de cada perfil
```

```
contrastes_ambiente <- contrast(emmeans_res, interaction = "pairwise", by =
"tipo_perfil", adjust = "sidak")
```

```
summary(contrastes_ambiente)
```

```
# Médias exponenciadas (escala original)
```

```
emmeans_original <- summary(emmeans(modelo_glmm, ~ tipo_perfil * local),
  type = "response")
```

```
emmeans_original
```

```
# -----
```

```
# FIM DO SCRIPT-MODELO
```

```
# -----
```