



Programa de Pós-Graduação em Zootecnia

**QUALIDADE NUTRICIONAL, FERMENTATIVA E
MICROBIOLÓGICA DAS SILAGENS MISTAS DE SORGO
BIOMASSA BRS 716 COM PALMA FORRAGEIRA EM REGIÃO
SEMIÁRIDA**

KEITTY FABIANY ALVES SANTOS

2026

KEITTY FABIANY ALVES SANTOS

**QUALIDADE NUTRICIONAL, FERMENTATIVA E MICROBIOLÓGICA DAS SILAGENS MISTAS DE
SORGO BIOMASSA BRS 716 COM PALMA FORRAGEIRA EM REGIÃO SEMIÁRIDA**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Montes Claros como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, área de concentração em Zootecnia no Semiárido, para obtenção do título de Mestre.

Orientador

Prof. Dr. Vicente Ribeiro Rocha Júnior

Janaúba

2026

FICHA CATALOGRÁFICA

O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) – APQ – 03431-22

Santos, Keitty Fabiany Alves

S237q Qualidade nutricional, fermentativa e microbiológica das silagens mistas de sorgo biomassa BRS 176 com palma forrageira em região semiárida [manuscrito] / Keitty Fabiany Alves Santos – 2026.
62 p.

Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Universidade Estadual de Montes Claros – Janaúba, 2026.
Orientador: Prof. D. Sc. Vicente Ribeiro Rocha Júnior.

1. Déficit hídrico. 2. Nutrição animal. 3. Palma forrageira. 4. Silagem. 5. Sorgo. I. Rocha Júnior, Vicente Ribeiro. II. Universidade Estadual de Montes Claros. III. Título.

CDD. 633.62

Montes Claros, 12 de fevereiro de 2026.

Declaramos para os devidos fins que no dia **12 de Fevereiro de 2026**, a Senhorita **Keitty Fabiany Alves Santos**, CPF **145.709.546-77**, defendeu sua Dissertação de Mestrado, Intitulada “**QUALIDADE NUTRICIONAL, FERMENTATIVA E MICROBIOLÓGICA DAS SILAGENS MISTAS DE SORGO BIOMASSA BRS 716 COM PALMA FORRAGEIRA EM REGIÃO SEMIÁRIDA**” no Programa de Pós-graduação em Zootecnia da Unimontes – Universidade Estadual de Montes Claros, aprovada pela banca examinadora:

Dr. Vicente Ribeiro Rocha Júnior/ Presidente/ UNIMONTES

Dr. Flávio Pinto Monção/ Membro Interno/ UNIMONTES

Dr. Pedro Henrique Ferreira da Silva/ Membro Interno/ UNIMONTES

Dr. André Santos de Souza/ Membro Interno/ UNIMONTES

Dra. Leidy Darmony de Almeida Rufino/ Membro Externo/EPAMIG

Considerando o disposto no Artigo 49 da Resolução Nº. 372 – CEPEX/2020 das Normas do Programa, a Mestranda somente poderá usufruir de todos os direitos e prerrogativas que o título de Mestre em Zootecnia lhe confere após a apresentação da Dissertação, devidamente aprovada em sua redação definitiva, à Secretaria do Programa, **no prazo final de 90 dias**, findo o qual esta declaração perde a validade.

A Mestranda foi orientada pelo **Prof. Dr. Vicente Ribeiro Rocha Júnior**.

O curso é reconhecido e Homologado pelo CNE (Portaria MEC Nº 1.077- DOU de 13/09/2012 - Parecer CES/CNE 277/2007, 17/01/2008) Renovação do Reconhecimento: (RESOLUÇÃO SEDECTS Nº 15, de 14 DE MARÇO 2019, D.O.MG de 26/03/2019)



Documento assinado eletronicamente por **Vicente Ribeiro Rocha Junior, Professor(a)**, em 12/02/2026, às 11:18, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, Decreto nº 47.222, de 26 de julho de 2017.



Documento assinado eletronicamente por **Flávio Pinto Monção, Professor(a)**, em 12/02/2026, às 11:29, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 47.222, de 26 de julho de 2017](#).



Documento assinado eletronicamente por **PEDRO HENRIQUE FERREIRA DA SILVA, Usuário Externo**, em 12/02/2026, às 11:44, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 47.222, de 26 de julho de 2017](#).



Documento assinado eletronicamente por **André Santos De Souza registrado(a) civilmente como André Santos de Souza, Usuário Externo**, em 12/02/2026, às 11:49, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 47.222, de 26 de julho de 2017](#).



Documento assinado eletronicamente por **Leidy Darmony de Almeida Rufino, Usuário Externo**, em 12/02/2026, às 11:54, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 47.222, de 26 de julho de 2017](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.mg.gov.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **133228113** e o código CRC **8B835BE2**.

Aos meus pais, Fabiano Alves Jardim e Leonoura Maria dos Santos, por todo apoio e por tudo aquilo que o dinheiro não pode comprar. Ao meu cachorro Toddy, pela demonstração mais pura e sincera do que é o amor, **dedico**.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida, sabedoria e força que tem me dado para conseguir atingir meus objetivos.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG, pelo auxílio financeiro ao projeto e concessão de bolsa de estudos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela concessão de bolsa de estudos.

À EPAMIG – Nova Porteirinha, pelo apoio na realização da pesquisa.

Ao INCT Ciência Animal/CNPq (Processo 425168/2025-5).

Aos meus pais, Fabiano Alves Jardim e Leonoura Maria dos Santos, pelo apoio e por fazerem o possível e o impossível para que eu tivesse uma boa educação e para que eu chegasse até aqui. Palavras não são suficientes para expressar o meu amor por vocês.

À minha família, por sempre acreditar em mim, incentivar-me e apoiar-me, ainda que de longe.

Ao Luiz Gustavo Santos Silva, pelo carinho, apoio e incentivo.

A Jordânia Pereira da Silva, pela disponibilidade, apoio, auxílio durante as análises laboratoriais e pela amizade.

Ao meu orientador, Dr. Vicente Ribeiro Rocha Júnior, pelos ensinamentos, paciência, amizade e comprometimento.

Ao Dr. Flávio Pinto Monção, pela paciência, disponibilidade, apoio, ensinamentos e pela amizade.

À Dra. Leidy Darmony de Almeida Rufino, pelo apoio de sempre, pela amizade, conselhos e por aceitar participar da minha banca de defesa.

Aos Doutores André Santos de Souza e Pedro Henrique Ferreira da Silva, pela disponibilidade e por aceitarem participar da minha banca de defesa.

Aos professores da UNIMONTES, pela dedicação e ensinamentos.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para que eu chegasse até aqui.

Muito obrigada.

Sumário

RESUMO GERAL.....	10
GENERAL ABSTRACT	12
1. INTRODUÇÃO GERAL.....	14
2. REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1 Semiárido mineiro.....	17
2.2 Silagem de sorgo biomassa BRS 716	19
2.3 Palma forrageira.....	19
2.4 Silagem mista com palma forrageira	21
2.5 Microbiologia de silagem	24
3. REFERÊNCIAS.....	26
CAPÍTULO 1: Qualidade de silagens mistas de sorgo biomassa BRS 716 com níveis crescentes de palma forrageira em região semiárida.....	32
RESUMO	32
Introdução.....	34
Material e Métodos.....	36
Declaração de ética	36
Local do experimento	36
Tratamentos e delineamento experimental	36
Cultivo e preparo dos materiais	37
Processo de ensilagem	37
Análise da composição química das silagens	37
Perdas fermentativas.....	38
Estabilidade aeróbia	39
Avaliação do pH, nitrogênio amoniacal e ácidos orgânicos	39
Análises microbiológicas.....	39
Enumeração e identificação de bactérias ácido-láticas por MALDI-TOF	40
Digestibilidade in vitro das silagens.....	40
Análises estatísticas	40
Resultados	41
Composição química.....	41
Perdas de matéria seca e perfil fermentativo	43
Microbiologia.....	45
Análise dos componentes principais	46
Discussão	48
Conclusão	56
Agradecimentos	56

Referências	57
Considerações finais.....	62

NORMAS DA REVISTA CIENTÍFICA

Esta dissertação segue as premissas básicas das Normas da Revista Brasileira de Zootecnia, exceto o idioma. Link: <https://rbz.org.br/pt-br/>

RESUMO GERAL

A utilização de forragens conservadas tem se mostrado eficiente para garantir o fornecimento adequado de alimento ao longo do ano, permitindo a sustentabilidade de sistemas agropecuários em períodos de déficit hídrico. Culturas como o sorgo biomassa e a palma forrageira se destacam nesse cenário por sua adaptabilidade a ambientes secos e elevada produção de biomassa, podendo atingir até 639 t/ha de massa verde para a palma e cerca de 150 t/ha para o sorgo biomassa BRS 716. Porém, ainda são limitadas as pesquisas que avaliam os efeitos da combinação dessas duas forrageiras sobre a composição nutricional e a qualidade da silagem. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi analisar a composição nutricional e a qualidade fermentativa e microbiológica de silagens mistas de sorgo biomassa BRS 716 com níveis crescentes de palma forrageira. O material ensilado consistiu em sorgo biomassa BRS 716 associado a 0, 15, 30, 45 e 60% de palma forrageira, na base da matéria natural. Os tratamentos foram distribuídos em delineamento inteiramente casualizado, com cinco níveis e doze repetições, totalizando 60 unidades experimentais. A inclusão crescente de palma forrageira promoveu redução linear no teor de matéria seca das silagens, acompanhada por aumento da fração mineral e redução da matéria orgânica. Houve aumento nos teores de proteína bruta, carboidratos não fibrosos, carboidratos solúveis, nutrientes digestíveis totais e na digestibilidade *in vitro* da matéria seca, associado à redução da fibra em detergente neutro corrigida para cinzas e proteína e da hemicelulose. O aumento da participação da palma elevou linearmente o pH da massa ensilada e a atividade de água, além de intensificar as perdas por efluente, sem alterar as perdas por gases. A recuperação de matéria seca apresentou comportamento quadrático, com redução em níveis intermediários de inclusão. Os principais ácidos graxos voláteis mantiveram-se estáveis, e a relação láctico:acético apresentou redução linear, acompanhada por diminuição do nitrogênio amoniacal. A inclusão de palma influenciou de forma quadrática as populações de bactérias ácido-láticas e intensificou a ocorrência de bolores e leveduras nos níveis intermediários, enquanto as enterobactérias não foram afetadas. De modo geral, os resultados indicam que a associação do sorgo biomassa BRS 716 com palma forrageira modifica a composição química e o ambiente fermentativo das silagens, melhorando o valor nutritivo, embora exija atenção ao teor de matéria seca e às perdas por efluente. A utilização de níveis intermediários de inclusão de palma mostra-se uma alternativa viável para a produção de silagens mistas em condições semiáridas. Diante dos resultados, o nível

de 30% de palma parece ser o mais indicado para a ensilagem com o sorgo biomassa BRS 716.

Palavras-chave: déficit hídrico; forrageiras; forragicultura; nutrição animal.

GENERAL ABSTRACT

The use of conserved forages has proven efficient in ensuring an adequate supply of feed throughout the year, allowing the sustainability of livestock systems during periods of water deficit. Crops such as biomass sorghum and forage cactus stand out in this context due to their adaptability to dry environments and high biomass production, reaching up to 639 t/ha of fresh matter for cactus and about 150 t/ha for biomass sorghum BRS 716. However, research evaluating the effects of combining these two forages on the nutritional composition and silage quality is still limited. Thus, the objective of this study was to analyze the nutritional composition and the fermentative and microbiological quality of mixed silages of biomass sorghum BRS 716 with increasing levels of forage cactus. The ensiled material consisted of biomass sorghum BRS 716 associated with 0, 15, 30, 45, and 60% forage cactus on a natural matter basis. Treatments were distributed in a completely randomized design, with five levels and twelve replicates, totaling 60 experimental units. The increasing inclusion of forage cactus promoted a linear reduction in the dry matter content of the silages, accompanied by an increase in the mineral fraction and a reduction in organic matter. There was an increase in crude protein, non-fibrous carbohydrates, soluble carbohydrates, total digestible nutrients, and *in vitro* dry matter digestibility, associated with a reduction in neutral detergent fiber corrected for ash and protein and in hemicellulose. The increase in cactus participation linearly increased the pH of the ensiled mass and water activity, and intensified effluent losses, without altering gas losses. Dry matter recovery showed a quadratic behavior, with reduction at intermediate levels of inclusion. The main volatile fatty acids remained stable, and the lactic:acetic ratio showed a linear reduction, accompanied by a decrease in ammoniacal nitrogen. The addition of cactus quadratically influenced the populations of lactic acid bacteria and intensified the occurrence of molds and yeasts at intermediate levels, while enterobacteria were not affected. Overall, the results indicate that the association of biomass sorghum BRS 716 with forage cactus modifies the chemical composition and the fermentative environment of silages, improving the nutritive value, although attention is required regarding dry matter content and effluent losses. The use of intermediate levels of cactus inclusion appears to be a viable alternative for the production of mixed silages under semiarid conditions. Considering the results, the level of 30% cactus appears to be the most suitable for ensiling with biomass sorghum BRS 716.

Keywords: water deficit; forages; forage crops; animal nutrition.

1. INTRODUÇÃO GERAL

As mudanças climáticas têm intensificado a aridez em diversas regiões do Brasil. A irregularidade das chuvas, associada às elevadas taxas de evapotranspiração, reduz a umidade do solo e compromete a disponibilidade de recursos hídricos, impactando diretamente a produção agropecuária (Donato *et al.*, 2017; IBGE, 2022). No semiárido, a sazonalidade da produção forrageira decorrente da irregularidade pluviométrica resulta em períodos de elevada disponibilidade de forragem durante a estação chuvosa, seguidos por fases prolongadas de escassez ao longo da estiagem. Nesse cenário, a conservação de volumosos torna-se uma prática necessária para assegurar o fornecimento contínuo de alimento aos animais, sendo o processo de ensilagem o mais comum.

A ensilagem consiste na conservação de forragens por meio da fermentação anaeróbia da massa vegetal previamente colhida, triturada, compactada e armazenada em ambiente hermeticamente vedado, processo no qual bactérias ácido-láticas promovem a rápida redução do pH e a estabilização do material ensilado (Van Pamel *et al.*, 2011; Chen *et al.*, 2021). A adoção desse processo permite o armazenamento do excedente de forragem produzido no período chuvoso para utilização durante a seca, contribuindo para a manutenção do valor nutritivo do material conservado e para a regularidade no fornecimento de alimento.

Nesse contexto, o sorgo biomassa BRS 716 tem ganhado espaço na alimentação animal. Inicialmente utilizado na produção de bioenergia, o híbrido desenvolvido pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) destaca-se pela elevada produtividade e pela boa adaptação às condições de clima seco. Capaz de produzir até 50 toneladas por hectare (t/ha) de matéria seca a cada seis meses e entre 120 a 150 toneladas de matéria fresca por hectare (Embrapa, 2014), trata-se de uma alternativa para suprir a demanda por forragem no semiárido, principalmente quando destinado à ensilagem. Contudo, do ponto de vista bromatológico, apresenta composição característica de forragens fibrosas com elevada fração de parede celular e limitada concentração de carboidratos não fibrosos (CNF) (Hora *et al.*, 2023). A predominância de frações fibrosas, associada à baixa disponibilidade de carboidratos solúveis, pode limitar o substrato fermentável para bactérias ácido-láticas, influenciando a dinâmica fermentativa e a qualidade da silagem produzida (Cunha *et al.*, 2022; Paulino *et al.*, 2021).

A palma forrageira tem se destacado como uma forrageira estratégica para regiões semiáridas, devido à sua alta adaptação às condições de seca e à sua qualidade nutricional, especialmente pelo elevado teor de carboidratos não fibrosos, que pode variar entre 423,4 e 625,8 g/kg de matéria seca, favorecendo o processo fermentativo das silagens (Santos *et al.*, 1990; Santos, 1992; Wanderley *et al.*, 2002; Santos, 2006; Costa *et al.*, 2008; Dubeux, 2021). No entanto, a palma forrageira apresenta cerca de 90% de água em sua composição (Santos *et al.*, 2006). O elevado teor de umidade pode comprometer a qualidade da silagem, promovendo perdas de nutrientes como proteína bruta, carboidratos e minerais, por meio do efluente (Loures & Nussio, 2002). Contudo, parte da água da composição da palma está retida em uma matriz polissacarídica denominada mucilagem, um material viscoso liberado durante sua trituração, decorrente da ruptura da parede celular e desorganização da matriz polissacarídica. A formação da mucilagem atua como uma barreira que reduz consideravelmente as perdas por efluente ao reter a água no material, impedindo a perda de nutrientes, que pode acontecer ao se ensilarem forrageiras com alto teor de umidade (Soares, 2021). Tradicionalmente, o fornecimento da palma ocorre *in natura*, com cortes diários, o que limita sua utilização contínua em razão da elevada exigência de mão de obra. Isso justifica o processo de ensilagem como forma de conservação do alimento e como estratégia para facilitar o manejo, superando as limitações do fornecimento diário e proporcionando maior estabilidade na alimentação animal (Wanderley *et al.*, 2002; Costa *et al.*, 2008; Dubeux, 2021).

Entretanto, é importante considerar que o uso excessivo da palma na dieta pode ocasionar distúrbios digestivos, como diarreia, principalmente quando fornecida sem a devida associação com alimentos fibrosos (Albuquerque *et al.*, 2002). Segundo Alencar *et al.* (2023), a inclusão de até 40% de palma forrageira na dieta de ruminantes não compromete a qualidade nutricional da silagem. Porém, ainda são escassas as informações sobre como diferentes proporções desse ingrediente influenciam o processo de ensilagem e as perdas associadas ao armazenamento.

No caso da ensilagem com sorgo biomassa BRS 716, a participação da palma pode alterar características importantes do material ensilado. A elevada umidade e o alto teor de carboidratos fermentáveis da palma tendem a modificar a dinâmica fermentativa e a composição química da silagem quando associadas a forragens com maior teor de fibra e matéria seca, como o sorgo biomassa. Nesse contexto, avaliar diferentes proporções dessas

forragens torna-se necessário para compreender seus efeitos sobre a qualidade fermentativa, a composição nutricional e as perdas durante a conservação, gerando informações que auxiliem o uso mais eficiente desses recursos em sistemas de produção no semiárido.

Diante do exposto, partiu-se da hipótese de que a inclusão de palma forrageira na ensilagem com sorgo biomassa BRS 716 pode melhorar a qualidade nutricional e influenciar o padrão fermentativo do material ensilado. Assim, objetivou-se avaliar os efeitos de diferentes proporções de palma forrageira associada ao sorgo biomassa BRS 716 sobre a composição bromatológica, a qualidade fermentativa e o perfil microbiológico das silagens produzidas.

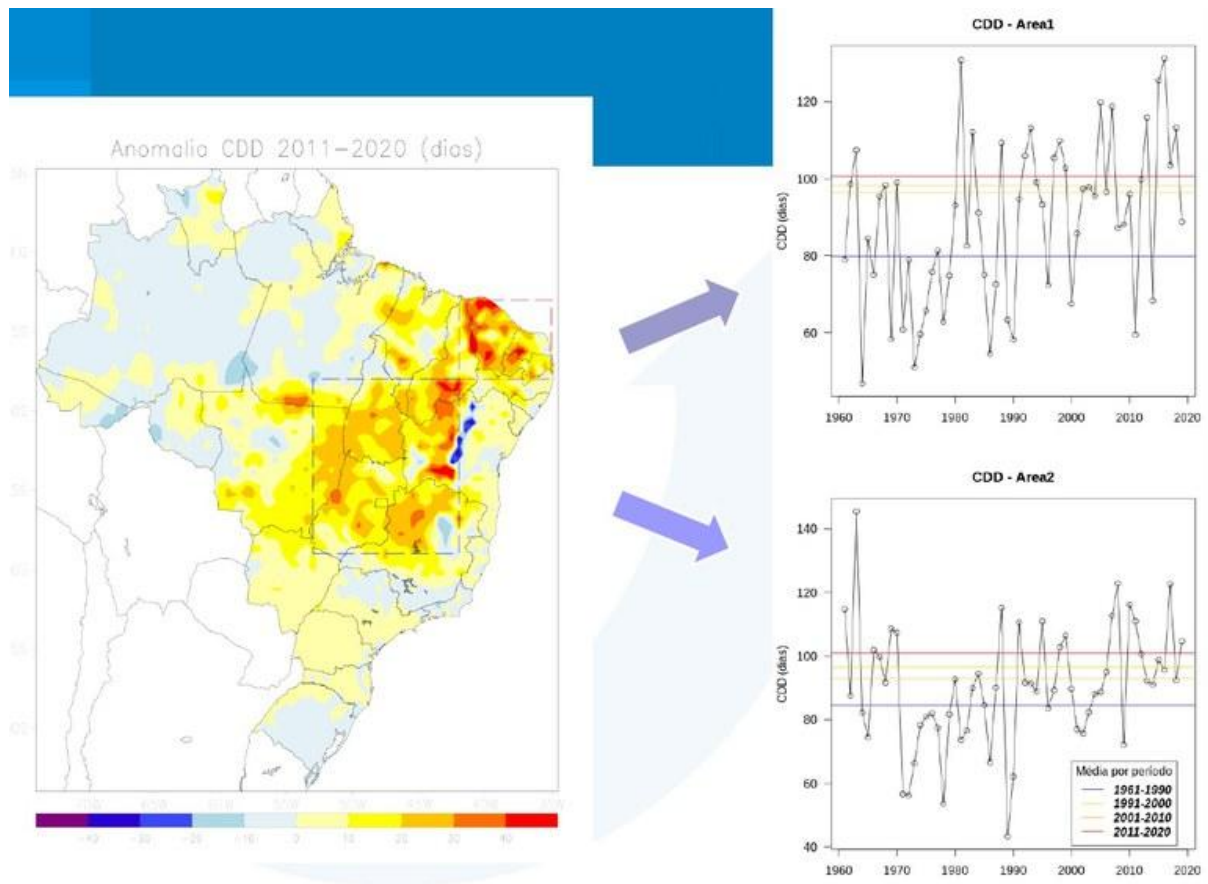
2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Semiárido mineiro

As mudanças climáticas têm intensificado a aridez em diversas regiões do Brasil, resultando na expansão do semiárido e na ocorrência, pela primeira vez, de uma área árida no norte da Bahia. Entre 2000 e 2022, o número de municípios classificados como semiáridos aumentou de 1.262 para 1.477, refletindo o agravamento do déficit hídrico, que ocorre quando a evapotranspiração supera a precipitação, reduzindo a disponibilidade de água no solo (IBGE, 2022).

Para que um município seja considerado semiárido, é necessário que atenda a três critérios: precipitação média anual inferior a 800 mm, Índice de Aridez de Thornthwaite de até 0,50 e déficit hídrico diário superior a 60% ao longo do ano. Atualmente, o semiárido brasileiro abrange municípios dos estados do Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia, Minas Gerais e Espírito Santo (IBGE, 2022; CEMADEN, 2023). Nos últimos anos, a intensificação das mudanças climáticas tem agravado as condições ambientais nessas áreas. De acordo com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), as temperaturas máximas no Brasil aumentaram até 3 °C entre 1961 e 2020, enquanto os períodos secos prolongados se tornaram mais frequentes. O número de dias consecutivos sem chuva passou de 80 a 85 (1961–1990) para aproximadamente 100 dias na década mais recente (Figura 1). Esse aumento da estiagem compromete a recarga hídrica e impacta diretamente a produção agrícola e a pecuária, necessitando de adoção de irrigação, bem como cultivares adaptadas à seca (INPE, 2023).

FIGURA 1. Variação no número de dias consecutivos secos no Brasil nas últimas décadas



Fonte: DIIAV/ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2023.

Em Minas Gerais, as mudanças climáticas também têm contribuído para a expansão do semiárido, que cresceu significativamente nos últimos anos. Entre 2017 e 2021, a área semiárida no estado aumentou 138%, passando de 91 para 209 municípios (Barbosa, 2024).

Esse cenário climático tem repercussões diretas sobre as atividades agropecuárias regionais. A pecuária leiteira, uma das principais atividades econômicas da região, tem sido particularmente afetada pela irregularidade das chuvas, condição que limita a disponibilidade de forragens e compromete o desempenho produtivo, impactando diretamente a renda de pequenos produtores (Magalhães Junior *et al.*, 2023).

Diante desses desafios, instituições como a Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG) têm desenvolvido iniciativas para aumentar a resiliência da agropecuária no Semiárido Mineiro. Projetos voltados para o uso de sistemas produtivos mais adaptados, como a introdução de cultivares resistentes à seca e a diversificação de fontes de alimento para os rebanhos, têm sido estratégias para o enfrentamento dos impactos das condições climáticas adversas (Agrolink, 2011).

Nesse contexto, a adoção de alternativas forrageiras adaptadas ao semiárido é essencial para garantir a sustentabilidade da pecuária na região. Entre essas alternativas, o sorgo biomassa BRS 716 se destaca por sua alta produtividade e a palma forrageira têm ganhado relevância devido à sua capacidade de manter-se produtiva mesmo em períodos de estiagem prolongada, não necessitando de irrigação.

2.2 Silagem de sorgo biomassa BRS 716

O sorgo biomassa BRS 716 foi inicialmente desenvolvido para atender à demanda por matéria-prima destinada à produção de açúcar e etanol. Entretanto, devido ao seu elevado potencial produtivo e à sua adaptabilidade, esse híbrido também tem sido utilizado na alimentação animal. Caracteriza-se pelo porte elevado e pela alta produção de biomassa, podendo alcançar cerca de 50 t/ha e entre 120 e 150 t/ha de matéria fresca. Essas características tornam esse material uma alternativa relevante para a alimentação animal, principalmente em regiões semiáridas, onde a produção de alimentos frequentemente é limitada pela baixa disponibilidade hídrica (Embrapa, 2014).

Colhido aos 160 dias, o sorgo biomassa BRS 716 apresenta 297,50 g/kg de matéria seca (MS). Na base da MS, os teores correspondem a 61,20 g/kg de proteína bruta (PB), 40 g/kg de extrato etéreo (EE), 598,76 g/kg de fibra em detergente neutro (FDN), 423,08 g/kg de fibra em detergente ácido (FDA) e 178,03 g/kg de carboidratos não fibrosos (CNF) (Hora *et al.*, 2023). A elevada fração fibrosa e proporção reduzida de carboidratos prontamente fermentáveis pode limitar a disponibilidade de substrato para as bactérias ácido-láticas durante a ensilagem (Cunha *et al.*, 2022; Paulino *et al.*, 2021).

Nessas condições, a associação com fontes de carboidratos solúveis favorece a fermentação e a estabilização do material ensilado. A utilização do sorgo biomassa em conjunto com forrageiras ricas nesses compostos, como a palma forrageira, contribui para melhorar o perfil nutricional da silagem e favorece a produção de ácido lático durante a fermentação, resultando em maior estabilidade fermentativa e melhor conservação do material (Ohmomo *et al.*, 2002; Alencar *et al.*, 2023).

2.3 Palma forrageira

Os gêneros *Opuntia* e *Nopalea*, popularmente conhecidos como palma forrageira, têm origem no continente americano, com o México sendo considerado seu centro de

origem. Historicamente, essa cultura tem sido utilizada tanto na alimentação humana quanto na nutrição animal. Sua elevada produção de biomassa e adaptação a condições áridas favoreceram sua disseminação para diversas regiões, incluindo o semiárido brasileiro. Nessas áreas, as características anatômicas, morfológicas, fisiológicas e bioquímicas da palma proporcionam uma vantagem adaptativa, garantindo sua sobrevivência em ambientes com baixa disponibilidade hídrica (Frota *et al.*, 2015; Silva *et al.*, 2015; Soares, 2017).

Um dos principais fatores que explicam essa resistência é o metabolismo CAM (*Metabolismo Ácido das Crassuláceas*), característico das cactáceas. Esse mecanismo permite que a planta minimize a perda de água ao manter seus estômatos fechados durante o dia e abri-los apenas à noite para realização de trocas gasosas. Além disso, essa estratégia reduz a dissipação de calor, aumentando a eficiência no uso da água e garantindo o desenvolvimento da planta mesmo em solos secos e de baixa umidade (Donato *et al.*, 2017).

A palma forrageira foi introduzida no Brasil, inicialmente, como hospedeira da cochonilha-do-carmim (*Dactylopius opuntiae*), um inseto que se alimenta dos cladódios jovens e é utilizado na produção de corantes naturais. No entanto, com o desuso dessa prática e a disseminação da praga, muitos palmais – especialmente da variedade Gigante, suscetível à cochonilha – foram dizimados em municípios de Pernambuco, Paraíba e Ceará. Posteriormente, a palma forrageira passou a se destacar como alternativa estratégica na alimentação animal, devido à sua alta produção de biomassa, resistência à seca e excelente palatabilidade (Warumby *et al.*, 2005; Lopes *et al.*, 2009; Frota *et al.*, 2015).

A produtividade da palma forrageira é influenciada pela densidade de plantio, idade da cultura e genótipo. Em cultivos avaliados aos dois anos, sob densidades entre 10.000 e 80.000 plantas ha⁻¹, a produção de massa verde (MV) varia de 118 a 639 t/ha para a cultivar Miúda, de 113 a 518 t/ha para a Redonda e de 100 a 400 t/ha para a Gigante. Nessas mesmas condições, a produtividade de massa seca (MS) situa-se entre 8,5 e 44,7 t/ha para a Miúda, 5,8 a 26,5 t/ha para a Redonda e 5,8 a 20,2 t/ha para a Gigante (Silva, 2015). Em avaliações conduzidas aos 12 meses, com densidades entre 31.000 e 50.000 plantas ha⁻¹, a cultivar IPA Sertânia apresenta 124,3 t/ha de MV e 10,7 t/ha de MS. Para a Orelha de Elefante Mexicana, relatam-se valores entre 163 e 566 t/ha de MV e 15,6 a 75,99 t/ha de MS, a depender da densidade e das condições de cultivo (Silva, 2015; Rocha *et al.*, 2017).

Além da produtividade, a palma forrageira destaca-se por seu conteúdo mineral, com potássio (K) e cálcio (Ca) em concentrações mais elevadas em comparação a outros

nutrientes. O teor de proteína bruta (PB) normalmente varia entre 4,48% e 6,78%, podendo atingir até 12,05% em condições específicas, como demonstrado por Barros (2014), em um manejo que incluiu adubação com 90 Mg/ha de esterco bovino e espaçamentos de plantio ampliados (3,00 x 1,00 x 0,25 m). No entanto, seu maior diferencial nutricional é o alto teor de carboidratos não fibrosos, que pode variar de 423,4 a 625,8 g/kg de matéria seca (Nogueira, 2015; Cavalcante *et al.*, 2014; Silva *et al.*, 2013; Tosto *et al.*, 2007). Essa elevada concentração de carboidratos não fibrosos confere à palma a possibilidade de utilização como fonte energética para a alimentação animal e favorece sua utilização na produção de silagem. Isso ocorre porque os carboidratos não fibrosos (CNF), especialmente os solúveis, servem como substrato para bactérias ácido-láticas (BAL), promovendo uma eficiente fermentação e garantindo uma melhor conservação do material ensilado (Santos *et al.*, 1990; Ohmomo *et al.*, 2002; Wanderley *et al.*, 2002; Dubeux, 2021).

2.4 Silagem mista com palma forrageira

O uso da palma forrageira na alimentação animal é tradicionalmente feito na forma *in natura*, com cortes diários (Santos *et al.*, 1992). No entanto, essa prática representa um grande desafio para o manejo da cultura, especialmente em pequenas propriedades que dependem de mão de obra familiar, tornando a colheita um processo trabalhoso e demorado (Costa *et al.*, 2008).

Como alternativa, podem ser adotadas técnicas de conservação, como a produção de farelo de palma ou a ensilagem. A desidratação dos cladódios, embora viável, apresenta desafios operacionais, exigindo maior demanda de mão de obra e custos adicionais com corte, secagem e moagem (Dubeux, 2021). Nesse contexto, a ensilagem se destaca por facilitar o manejo diário e reduzir a necessidade de mão de obra, além de conservar a água presente na palma.

A palma forrageira possui um elevado teor de umidade, em torno de 90% (Silva e Santos, 2007). Em forrageiras ensiladas com alta umidade, há risco de perdas nutricionais, incluindo proteína bruta, carboidratos e minerais, devido à produção excessiva de efluentes (Monção *et al.*, 2020; Alencar *et al.*, 2023). No entanto, parte da água da composição da palma está retida em uma matriz polissacarídica denominada mucilagem, um material viscoso liberado durante sua trituração, decorrente da ruptura da parede celular e desorganização da matriz polissacarídica. A formação da mucilagem atua como uma barreira

que reduz as perdas por efluente ao reter a água no material, impedindo a perda de nutrientes, que pode acontecer ao se ensilarem forrageiras com alto teor de umidade (Soares, 2021).

O processamento da palma pode ser realizado com facas ou equipamentos forrageiros específicos. A principal diferença entre os métodos está na exposição da mucilagem: enquanto a picagem manual com faca mantém a mucilagem retida nos tecidos, o uso da trituradora forrageira promove sua liberação (Andrade *et al.*, 2012). Para evitar a maceração excessiva dos cladódios e a perda de umidade, recomenda-se que as partículas tenham entre 2 e 5 cm de tamanho (Cordeiro *et al.*, 2023).

Uma alternativa para minimizar os desafios da ensilagem da palma, em relação ao seu alto teor de umidade, é a sua associação com outras forrageiras com elevado teor de fibras, como o sorgo e o capim-elefante. A utilização em conjunto com outras forrageiras pode favorecer o processo fermentativo, reduzir a produção de efluentes e melhorar o valor nutricional do material ensilado, uma vez que a palma forrageira apresenta um baixo teor de proteína bruta, mas é rica em carboidratos solúveis (Brito *et al.*, 2018; Alencar *et al.*, 2023; Oliveira *et al.*, 2023).

Oliveira *et al.* (2023) avaliaram a inclusão de palma forrageira na silagem de sorgo forrageiro e seus efeitos sobre a composição químico-bromatológica, a digestibilidade *in vitro*, as perdas e o perfil fermentativo. O estudo avaliou níveis crescentes de palma forrageira (0%, 10%, 20%, 30% e 40%) na silagem de sorgo (*Sorghum bicolor* cv. BR 700) com base na matéria natural. Os resultados indicaram que o teor de lignina, um dos principais componentes indigestíveis da parede celular, reduziu com o aumento da inclusão de palma, passando de 6,60% nas silagens de sorgo puro para 4,10% naquelas com 40% de palma. Além disso, a adição de palma forrageira elevou os teores de proteína bruta (PB), matéria mineral (MM), carboidratos solúveis (CHOS) e carboidratos não fibrosos (CNF), ao mesmo tempo que reduziu os constituintes fibrosos de menor digestibilidade, como a fibra em detergente ácido (FDA) e a lignina. Essas alterações melhoraram o valor energético da silagem, refletindo no aumento do teor de nutrientes digestíveis totais (NDT), energia digestível e energia metabolizável, além de maior digestibilidade *in vitro* da matéria seca.

Apesar dessas melhorias, observou-se que o pH da silagem aumentou com a inclusão de palma, o que pode comprometer a estabilidade fermentativa em níveis mais elevados. Com base nos resultados, os autores concluíram que a adição de palma forrageira melhora a

composição nutricional e a digestibilidade da silagem com sorgo, sem impactar as perdas durante o armazenamento. No entanto, recomendam a inclusão de até 10% de palma forrageira na matéria natural para garantir um processo fermentativo adequado. Níveis mais altos podem reduzir a concentração de matéria seca, tornando o processo de fermentação menos eficiente.

Alencar *et al.* (2023) também avaliaram o perfil fermentativo e o valor nutricional de silagens contendo palma forrageira, investigando sua associação com diferentes forrageiras. O estudo comparou silagens de sorgo forrageiro cv. Volumax, sorgo biomassa BRS 716 e capim-BRS Capiáçu, tanto isoladas quanto em combinação com palma forrageira *Opuntia ficus-indica* Mill. (gigante), na proporção de 60% de forragem principal e 40% de palma forrageira sobre a matéria natural. Os resultados demonstraram que a inclusão da palma forrageira na ensilagem do sorgo biomassa BRS 716 reduziu as perdas de matéria seca e favoreceu o perfil fermentativo, refletindo-se em um maior valor nutricional da silagem. Entre as silagens analisadas, a de sorgo biomassa com palma forrageira apresentou os maiores teores de ácido láctico (82,98 g/kg de MS), composto essencial para a acidificação da silagem. Esse fator pode ter acelerado a redução do pH, favorecendo a conservação do material. Já o sorgo biomassa ensilado isoladamente apresentou um teor menor de ácido láctico (65,90 g/kg de MS), o que pode ter comprometido sua estabilidade fermentativa e valor nutritivo.

Além disso, verificou-se um maior teor de cinzas nas silagens que continham palma forrageira em comparação às que não continham. A silagem de capiaçu com palma e a de sorgo biomassa BRS 716 com palma apresentaram, na base da matéria seca, teores de cinzas de 149,7 g/kg e 108,7 g/kg, respectivamente, enquanto as silagens isoladas de capiaçu e de sorgo biomassa registraram valores de 111,0 g/kg e 68,2 g/kg, aumento que pode estar relacionado ao alto teor de minerais da palma forrageira.

De modo geral, esses resultados mostram que a inclusão de palma forrageira em silagens mistas pode melhorar o perfil fermentativo e alterar a composição mineral da silagem, indicando que sua associação com outras forrageiras pode ser uma alternativa para o aproveitamento desse recurso na conservação de volumosos.

2.5 Microbiologia de silagem

A ensilagem é um método de conservação de alimentos baseado na fermentação dos açúcares solúveis, resultando na produção de ácidos orgânicos, principalmente o ácido lático. Esse processo reduz o pH e inibe microrganismos indesejáveis. Para ser eficiente, exige um ambiente anaeróbico, garantido por boa compactação e vedação dos silos. Além disso, fatores como teor de matéria seca, microflora epifítica e quantidade de carboidratos solúveis influenciam diretamente na fermentação (Santos *et al.*, 2006).

O processo de ensilagem é dividido em quatro fases:

1. Fase aeróbica: ocorre durante o enchimento do silo e algumas horas após o fechamento. A presença de oxigênio favorece microrganismos aeróbicos como fungos, leveduras e algumas bactérias. O oxigênio é consumido pelo metabolismo da planta, permitindo a transição para a próxima fase.
2. Fase de fermentação ativa: ocorre a queda do pH devido à produção de ácidos orgânicos a partir dos açúcares. Inicialmente, predominam enterobactérias e bactérias heterofermentativas, seguidas pelas homofermentativas, até que o pH fique abaixo de 5,0.
3. Fase de estabilidade: a acidez e a ausência de oxigênio mantêm a conservação da silagem até a abertura do silo. As BAL continuam presentes, mas em menor quantidade.
4. Deterioração aeróbia: ao abrir o silo, a exposição ao oxigênio favorece o crescimento de fungos e leveduras. A "estabilidade aeróbica" refere-se à capacidade da silagem de resistir à deterioração após o contato com o oxigênio (Santos *et al.*, 2006).

A microbiologia da silagem envolve diferentes microrganismos que afetam sua qualidade e estabilidade. Segundo Muck *et al.* (2020), a ensilagem abriga diversas bactérias e fungos, predominando microrganismos aeróbicos ou facultativos. Entre os principais grupos estão:

Bactérias do ácido lático (BAL): fundamentais para a conservação da silagem, incluem os gêneros *Lactobacillus*, *Pediococcus* e *Leuconostoc* (Pahlow *et al.*, 2003). Elas fermentam açúcares, produzindo ácido lático e, dependendo do metabolismo, também ácido acético e etanol. As bactérias lácticas homofermentativas, como *Lactobacillus plantarum*, são as mais eficientes. No início da fermentação, as heterofermentativas ajudam a criar um ambiente ácido favorável (Ohmomo *et al.*, 2002).

Leveduras: consomem açúcares e ácido láctico, podendo elevar o pH e comprometer a estabilidade aeróbica da silagem. Algumas espécies fermentam açúcares em etanol, reduzindo a qualidade do alimento.

Bolores: fungos aeróbicos cuja presença indica deterioração da silagem, podem produzir micotoxinas prejudiciais à saúde animal.

Bactérias do ácido acético: degradam etanol em ácido acético, o excesso pode favorecer a deterioração aeróbica (Muck *et al.*, 2020).

Bacilos e enterobactérias: os bacilos são mais ativos na presença de oxigênio e podem elevar a temperatura da silagem; as enterobactérias competem com as BAL por açúcares, resultando na produção de ácido acético e outros compostos menos desejáveis; algumas podem produzir endotoxinas prejudiciais ao consumo da silagem (Woolford, 1990; Muck & Pitt, 1994; Kleinschmit & Kung Júnior, 2006).

Clostrídios: anaeróbios obrigatórios que comprometem a qualidade da silagem após a interrupção do crescimento das BAL; são divididos em três grupos:

Proteolíticos: fermentam aminoácidos, gerando amônia, aminas e dióxido de carbono;

Clostridium butyricum: fermenta carboidratos, produzindo ácido butírico;

Clostridium tyrobutyricum: fermenta ácido láctico, produzindo ácido butírico, ácido acético, hidrogênio e dióxido de carbono (Muck *et al.*, 2020).

A atividade clostridial reduz a aceitabilidade da silagem pelos animais, principalmente quando os níveis de ácido butírico ultrapassam 5 g/kg de matéria seca. Em vacas leiteiras em transição, esse ácido pode aumentar o risco de cetose. Além disso, a conversão do ácido láctico em ácido butírico gera perdas de nutrientes, reduzindo a matéria seca em aproximadamente 51% e a energia bruta em 18% (McDonald *et al.*, 1991). Por isso, minimizar a atividade clostridial é essencial para garantir a qualidade da silagem e seu aproveitamento na alimentação dos ruminantes.

3. REFERÊNCIAS

Agrolink. **Epamig e instituições diversificam agropecuária no semiárido mineiro**. 2011. https://www.agrolink.com.br/noticias/epamig-e-instituicoes-diversificam-agropecuaria-no-semiarido-mineiro_138979.html.

Albuquerque, S. S. C.; Lira, M. de A.; Santos, M. V. F. *et al.* Utilização de três fontes de nitrogênio associadas à palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill.) cv. Gigante na suplementação de vacas leiteiras mantidas em pasto diferido. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, p.1315–1324, 2002. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982002000600001>.

Alencar, A. M. S.; Monção, F. P.; Cordeiro, M. W. S.; Rocha Junior, V. R. *et al.* Quality of mixed silages of sorghum, BRS Capiçu grass, and cactus pear in a semiarid region of Brazil. **Journal of Applied Animal Research**, v. 51, p. 719-728, 2023. <https://doi.org/10.1080/09712119.2023.2277256>.

Andrade, F. M.; Santos, M. V. F.; Dubeux Júnior, J. C. B. *et al.* Uso de palma forrageira para vacas leiteiras em regiões semiáridas do Brasil. **Agricultura Orgânica e Produção de Alimentos**, p.169-189, 2012. <https://doi.org/10.5772/53294>.

Barbosa, H. Minas Gerais já tem área árida e Semiárido mineiro duplicou em 5 anos. **Letras Ambientais**, 2024. <https://www.letrasambientais.org.br/posts/minas-gerais-ja-tem-area-arida-e-semiarido-mineiro-duplicou-em-5-anos>.

Barros, J. L. de. **Palma forrageira “Gigante” cultivada em diferentes espaçamentos com adubação orgânica**. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Montes Claros, 2014. <https://www.posgraduacao.unimontes.br/ppgz/wp-content/uploads/sites/24/2019/11/Joaquim-Lima.pdf>.

Brito, G. S. M. M. da S.; Oliveira, J. P. F.; Santos, E. M. *et al.* **Características fermentativas e nutricionais de silagens compostas por palma forrageira e gliricídia**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal da Paraíba, 2018. <https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/16609/1/GSMSB05122019%20-%20DZ338.pdf>.

Cavalcante, L. A. D.; Santos, M. V. F.; Dubeux Júnior, J. C. B. *et al.* Respostas de genótipos de palma forrageira a diferentes densidades de cultivo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.44, p.424–433, 2014. <https://www.scielo.br/j/pat/a/hvNSMbdhrYRKPVGxLv4RhGG/?lang=pt>.

CEMADEN – Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais. **Estudo do CEMADEN e do INPE identifica pela primeira vez a ocorrência de uma região árida no país.** 2023. <https://www.gov.br/cemaden/pt-br/assuntos/noticias-cemaden/estudo-do-cemaden-e-do-inpe-identifica-pela-primeira-vez-a-ocorrencia-de-uma-regiao-arida-no-pais>.

Chen, D.; Zheng, M.; Guo, X.; Chen, X.; Zhang, Q. Alteração da comunidade bacteriana: Uma possível forma de inoculantes de bactérias do ácido láctico reduzirem a produção de CO₂ e a perda de nutrientes durante a fermentação. **Bioresource Technology**, v. 329, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.124915>.

Cordeiro, M.W.S., Júnior, V.R.R., Monção, F.P. *et al.*, Silagens de gramíneas tropicais com cactos sem espinhos nas dietas de Holstein × novilha Zebu na região semiárida do Brasil. **Tropical Animal Health and Production**, v.55, n.89, 2023. <https://doi.org/10.1007/s11250-023-03506-6>.

Costa, C.; Silva, A.; Meirelles, P. Produção de silagem de grãos úmidos de cereais e de palma forrageira. I **Simpas – Simpósio em Sistemas Agrosilvipastoris no Semiárido**. PPGZ/CSTR/UFCG. 2008. <https://www.yumpu.com/pt/document/view/41021495/texto-completo-pdf-cstrufgedubr>.

Cunha, D. S.; Rodrigues, J. M. C. S.; Costa, C. J. P.; Lima, R. L.; Araújo, C. A.; Oliveira, G. F.; Gois, G. C. Mineral profile, carbohydrates fractionation, nitrogen compounds and in vitro gas production of elephant grass silages associated with cactus pear. **Bulletin of the National Research Centre**, v. 46, art. 257, 2022. <https://doi.org/10.1186/s42269-022-00948-0>.

Detmann, E.; Silva, L. F. C.; Rocha, G. C. *et al.* **Métodos para análise de alimentos: INCT – Ciência Animal**. 2. ed. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2021.

Donato, S. L. R.; Arantes, A. M.; Brito C. F. B; *et al.* Considerações sobre o clima semiárido e Ecofisiologia da palma forrageira. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 38, n. 296, p. 7-20, 2017.

Dubeux Jr, J. C. B.; Santos, M. V. F.; Cunha, M. V. *et al.* Cactus (Opuntia and Nopalea) nutritive value: A review. **Animal Feed Science and Technology**, 275, 2021.

Embrapa. **Sorgo biomassa é ótima opção para geração de energia**. Portal Embrapa, 2014. <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/2246665/sorgo-biomassa-e-otima-opcao-para-geracao-de-energia>.

Frota, M. N. L.; Carneiro, M. D. S.; Carvalho, G. M. C. *et al.* **Palma forrageira na alimentação animal**. 2015. <https://core.ac.uk/download/pdf/33890538.pdf>.

Hora, F. F.; Rocha Júnior, V. R.; Monção, F. P. *et al.* Parâmetros nutricionais e desempenho de novilhas mestiças alimentadas com silagens de milho e sorgo da biomassa BRS 716. **Revista de Pesquisa Animal Aplicada**, v. 51, n. 1, p. 74-83, 2023. <https://doi.org/10.1080/09712119.2022.2155172>.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo demográfico 2022: características da população e dos domicílios – resultados do universo**. 2022. <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/39525-censo-2022-informacoes-de-populacao-e-domicilios-por-setores-censitarios-auxiliam-gestao-publica>.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Mudanças Climáticas no Brasil: Impactos e Tendências**. 2023. <https://www.inpe.br/clima/mudancas>.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Terrabrasilis – Plataforma de dados geográficos. 2023. <https://www.gov.br/inpe/pt-br/assuntos/ultimas-noticias/em-60-anos-media-de-dias-seguidos-sem-chuva-aumenta-de-80-para-100-no-brasil-aponta-estudo-do-inpe>.

Jobim, C. C.; Nussio, L. G.; Reis, R. A. *et al.* Avanços metodológicos na avaliação da qualidade da forragem conservada. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, p. 101-119, 2007.

Kleinschmit, D. H.; Kung Júnior, L. A meta-analysis of the effects of *Lactobacillus buchneri* on the fermentation and aerobic stability of corn and grass and small-grain silages. **Journal of Dairy Science**, v.89, p.4005-4013, 2006. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72444-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72444-4).

Lopes, E. B.; Brito, C. D.; Albuquerque, I. D. *et al.* Desempenho do óleo de laranja no controle da cochonilha-do-carmim em palma gigante. **Engenharia Ambiental**, v. 6, p. 252-258, 2009. <http://ferramentas.unipinhal.edu.br/engenhariaambiental/viewarticle.php?id=197&locale=>.

Loures, D. R. S.; Nussio, L. G. **Produção de efluente em silagens úmidas**. v. 20, 2002. <https://www.milkpoint.com.br/colunas/thiago-fernandes-bernardes/producao-de-efluente-em-silagens-umidas-8198/>.

Magalhães Junior, W. C.; Hott, M. C.; Andrade R. G. Semiárido Mineiro: Desafios no aumento da produção de leite. **SCL Agro**, 2023. <https://www.sclagro.com.br/blog/semiarido-mineiro-desafios-producao-leite>.

McDonald, P.; Henderson, N. R.; Heron, S. J. E. **The biochemistry of silage**. 2. ed. Marlow: Chalcombe Publications, p. 340. 1991. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr42.c2>.

Monção, F. P.; Costa, M. A. M. S.; Rigueira, J. P. S.; Vendas, E. C. J.; Leal, D. B.; Silva, M. F. P.; Gomes, V. M.; Chamone, J. M. A.; Alves, D. D.; Carvalho, C. C. S.; Murta, J. E. J.; Rocha Júnior, V. R. Produtividade e valor nutricional da gramínea BRS capiaçu (*Pennisetum purpureum*) gerenciada em quatro idades de renascimento em uma região semiárida. **Saúde e Produção de Animais Tropicais**, v. 52, p.235-241, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11250-019-02012-y>.

Muck, R. E.; PITT, R. E. Aerobic deterioration in corn silage relative to the silo face. **Transactions of the ASAE**, v.37, 1994.

Muck, R. E.; Kung Jr., L.; Collins, M. Produção de silagem. **Forages: A ciência da agricultura de pastagens**, 2, p. 767-787, 2020. <https://doi.org/10.1002/9781119436669.ch42>.

Nogueira, M. S. **Perfil fermentativo e composição química de silagens de palma forrageira aditivadas com ureia e farelo de trigo**. 2015. <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/15253>.

Ohmomo, S.; Osamo T. Hiroko K. *et al.* Silagem e desempenho microbiano, história antiga, mas novos problemas. **Japan Agricultural Research Quarterly: JARQ**, v. 36, p. 59-71, 2002. https://www.jstage.jst.go.jp/article/jarq/36/2/36_59/_article/-char/ja/.

Oliveira, P. V. C.; Araújo, T. L. A. C.; Pinedo, L. A. *et al.* Silagem mista de sorgo e palma forrageira: composição, digestibilidade, fermentação e perdas. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 44, p. 929-936, 2023. <https://ojs.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/view/46923/49003>.

Pahlow, G.; Muck, R. E.; Driehuis F. *et al.* Microbiology of ensiling. **Silage Science and Technology**, n. 42, p. 31-93, 2003. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr42.c2>.

Paulino, R. D. S.; Oliveira, J. S.; Santos, E. M.; Pereira, G. A.; Ramos, J. P. D. F.; César Neto, J. M.; Oliveira, C. J. B. Spineless cactus use management on microbiological quality, performance, and nutritional disorders in sheep. **Tropical Animal Health and Production**, v. 53, p. 168, 2021. <https://doi.org/10.1007/s11250-021-02594-6>.

Rocha, R. S.; Voltolini, T. V.; Gava, C. A. T. Características produtivas e estruturais de genótipos de palma forrageira irrigada em diferentes intervalos de corte. **Archivos de zootecnia**, v. 66, n.255, p. 365-373, 2017. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49553112007>.

Santos, D. C.; Farias I.; Lira M. A. *et al.* **Manejo e utilização da palma forrageira (*Opuntia e Nopalea*) em Pernambuco**. Recife: IPA, 2006. 48p. (IPA. Documentos, 30).

Santos, E. M.; Zanine, A. M.; & Oliveira, J. S. Produção de silagem de gramíneas tropicais. REDVET. **Revista Electrónica de Veterinaria**, v. 7, p. 1-16, 2006. redalyc.org/pdf/636/63612753013.pdf.

Santos, M. D.; Lira, M. D. A.; Farias, I. *et al.* Estudo comparativo das cultivares de palma forrageira gigante, redonda (*Opuntia ficus indica* Mill) e miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm-Dyck) na produção de leite. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 19, p. 504-511, 1990.

Santos, M. V. F.; Lira, M. D. A.; Farias, I. *et al.* Efeito do Período de Armazenamento Pós-colheita sobre o Teor de Matéria Seca e Composição Química das Palmas Forrageiras. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 27, p. 777-783, 1992. https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/AI-SEDE/20694/1/pab01_jun_92.pdf

Silva, J. A.; BONOMO P.; DONATO, S. L. R. *et al.* Composição bromatológica de palma forrageira cultivada em diferentes espaçamentos e adubações química. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 8, p. 342-350, 2013. <http://www.agraria.pro.br/ojs32/index.php/RBCA/article/view/v8i2a2431>.

Silva, C. C. F.; Santos, L. C. Palma Forrageira (*Opuntia Ficus-Indica* Mill) como alternativa na alimentação se ruminantes. **REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria**, v. 8, p. 1-11, 2007. redalyc.org/pdf/636/63612669015.pdf.

Silva, T. G. F.; Primo, J. T. A.; Morais, J. E. F. *et al.* Crescimento e produtividade de clones de palma forrageira no semiárido e relações com variáveis meteorológicas. **Revista Caatinga**, v. 28, p. 10-18, 2015. <https://periodicos.ufersa.edu.br/caatinga/article/view/3630>.

Soares, M. J. A. de A. **Avaliação de silagem mistas de sorgo e palma forrageira**. 2021. <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/20602>.

Soares, M. S. Palma forrageira: aspecto do cultivo e desempenho animal. **Revista Eletrônica Nutritime**, Viçosa - MG, v. 14, p. 6041-6055, 2017. <https://nutritime.com.br/wp-content/uploads/2020/02/Artigo-431.pdf>.

Tosto, M. S. L.; Araújo, G. G. L. D.; Oliveira, R. L. *et al.* Composição química e estimativa de energia da palma forrageira e do resíduo desidratado de vitivinícolas. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 8, 2007. <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/12473>.

Van Pamel, E.; Verbeken, A.; Vlaemyck, G.; De Boever, J.; Daeseleire, E. Ultrahigh-performance liquid chromatographic-tandem mass spectrometric multimycotoxin method for quantitating 26 mycotoxins in maize silage. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, n. 59, v.18, p. 9747-9755, 2011. <https://doi.org/10.1021/jf202614h>. Acesso em: 2 abr. 2026.

Wanderley, W. L.; Ferreira M. A.; Andrade D. K. B. *et al.* Palma forrageira (*Opuntia ficus indica* Mill) em substituição à silagem de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) na alimentação de vacas leiteiras. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 31, p. 273-281, 2002. https://www.rbz.org.br/wp-content/uploads/articles_xml/1516-3598-rbz-S1516-35982002000100030/1516-3598-rbz-S1516-35982002000100030.pdf.

Warumby, J. F.; Arruda Filho, G. P.; Cavalcanti, V. A. L. B.; Arruda, G. P. **A palma no Nordeste do Brasil**: conhecimento atual e novas perspectivas de uso. Recife: UFPE; Editora Universitária, 2005.

Woolford, M.K. Uma resenha: os efeitos prejudiciais do ar na silagem. **Journal of Applied Bacteriology**, p. 101-116, 1990.

CAPÍTULO 1: Qualidade de silagens mistas de sorgo biomassa BRS 716 com níveis crescentes de palma forrageira em região semiárida

Keitty Fabiany Alves Santos¹, Vicente Ribeiro Rocha Júnior¹

***Corresponding Author: Vicente Ribeiro Rocha Júnior**

Tel: +55-38-99983-8240, Fax: +55- 38-3821-2756, E-mail:
vicente.rocha@unimontes.br

¹ Department of Agricultural Sciences, State University of Montes Claros, Reinaldo Viana Av., 2630, Janaúba, Minas Gerais, Brazil.

RESUMO

Objetivou-se avaliar os aspectos fermentativos, microbiológicos e a estabilidade aeróbia de silagens mistas de sorgo biomassa BRS 716 com níveis crescentes de palma forrageira. Foram avaliados cinco níveis de inclusão de palma na matéria natural (0, 15, 30, 45 e 60%) em delineamento inteiramente casualizado com 12 repetições por tratamento, totalizando 60 unidades experimentais. Os dados foram submetidos à análise de variância pelo procedimento GLM do SAS, adotando-se $P < 0,05$, e quando significativo realizou-se ajuste de regressões polinomiais. A inclusão de palma na ensilagem de sorgo biomassa promoveu redução linear nos teores de matéria seca, matéria orgânica e das frações fibrosas, com decréscimos estimados de 0,198, 0,1103 e 0,222 unidades percentuais para cada 1% de palma adicionada, respectivamente. Já a matéria mineral e a proteína bruta aumentaram com a inclusão de palma. Os carboidratos não fibrosos e os carboidratos solúveis aumentaram, com acréscimos estimados de 0,0793 e 0,0682 unidades percentuais por 1% de palma, respectivamente, refletindo também em aumento do teor de nutrientes digestíveis totais e na digestibilidade *in vitro* da matéria seca. Verificou-se aumento linear no pH (3,58 a 4,61), com acréscimo de 0,0168 unidades por 1% de inclusão. Os ácidos acético, propiônico e butírico não foram influenciados pelos tratamentos. A relação ácido láctico:ácido acético e o nitrogênio amoniacal apresentaram redução linear. As perdas por efluente aumentaram em 0,343 g/kg para cada 1% de palma adicionada, enquanto as perdas por gases não foram afetadas. A recuperação de matéria seca apresentou comportamento quadrático, com ponto de mínima estimado em 43,15% de inclusão de palma. Observou-se efeito quadrático para bactérias ácido-láticas, com ponto de mínima estimado em 23,92% de inclusão de palma, e a população de bolores e leveduras apresentou ponto de máxima em 31,04%, enquanto a população de enterobactérias não foi alterada. Considerando-se o

conjunto das variáveis avaliadas, o nível de 30% de inclusão de palma em silagens com o sorgo biomassa BRS 716 apresentou melhor equilíbrio entre composição nutricional, digestibilidade e características fermentativas.

Palavras-chave: digestibilidade *in vitro*; estabilidade aeróbia; perdas fermentativas.

Introdução

As mudanças climáticas têm intensificado a aridez em diferentes regiões do Brasil, aumentando a irregularidade das chuvas e as taxas de evapotranspiração. Esse cenário reduz a disponibilidade de água no solo e compromete os recursos hídricos, dificultando a sustentabilidade agropecuária (IBGE, 2022). Nessas condições, a produção de forragens no semiárido é dificultada, pois ocorre predominantemente em sistema de sequeiro e, em muitas áreas, a irrigação não é viável. Esse contexto reforça a necessidade de adoção de estratégias que assegurem o fornecimento de volumosos ao longo do ano, incluindo o cultivo de espécies forrageiras adaptadas às condições de baixa disponibilidade hídrica e a adoção de métodos de conservação capazes de armazenar o excedente produzido no período chuvoso para utilização durante a estiagem.

A ensilagem é o método de conservação de forragens por meio da fermentação anaeróbia da massa vegetal após a colheita, trituração, compactação e acondicionamento em ambiente hermeticamente vedado, processo no qual bactérias ácido-láticas promovem a rápida redução do pH e a estabilização do material ensilado (Van Pamel *et al.*, 2011; Chen *et al.*, 2021). A utilização dessa técnica viabiliza o aproveitamento do excedente produzido no período chuvoso para uso na estação seca, assegurando a preservação do valor nutritivo e maior regularidade na oferta de volumoso ao longo do ano.

A eficiência desse processo, entretanto, está diretamente relacionada às características químicas da forrageira ensilada, especialmente ao teor de matéria seca, à concentração de carboidratos solúveis e à capacidade tampão do material, fatores que determinam a intensidade e a velocidade da fermentação láctica. Forragens com maior disponibilidade de substrato fermentável e adequada matéria seca tendem a apresentar rápida queda do pH, menor produção de compostos indesejáveis e menores perdas durante o armazenamento (Guo *et al.*, 2023; Soundharrajan *et al.*, 2025).

Nesse contexto, o sorgo biomassa BRS 716 destaca-se como alternativa para ensilagem, devido à elevada produção de matéria seca e à adaptação a condições de restrição hídrica. Desenvolvido pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), inicialmente para a produção de bioenergia, o híbrido pode alcançar até 50 t/ha de matéria seca a cada seis meses, com rendimentos entre 120 e 150 t/ha de matéria fresca, atendendo à demanda por volumosos em regiões com limitação hídrica (Embrapa, 2014). Entretanto, o perfil químico do sorgo biomassa é característico de forragens fibrosas, com

altos teores de fibra e limitada concentração de carboidratos solúveis. Sua composição apresenta, em média, 127,84 g/kg de MS de proteína bruta (PB), 25,32 g/kg de MS de extrato etéreo (EE), 580,55 g/kg de MS de fibra em detergente neutro (FDN), 375,85 g/kg de MS de fibra em detergente ácido (FDA) e apenas 202,79 g/kg de MS de carboidratos não fibrosos (CNF), o que limita a eficiência fermentativa no processo de ensilagem (Cordeiro *et al.*, 2023; Hora *et al.*, 2023).

A palma, por sua vez, tem se destacado na alimentação animal devido à sua adaptação à seca e ao elevado teor de carboidratos não fibrosos, que pode variar entre 508,1 g/kg e 602,58 g/kg (Dubeux Júnior, 2021; Alencar *et al.*, 2023; Silva *et al.*, 2023). No entanto, apresenta teor de umidade em torno de 90%. Parte dessa água, porém, não se encontra na forma livre, e sim retida em uma matriz polissacarídica denominada mucilagem, que engloba seus nutrientes. A mucilagem é liberada durante a trituração da palma forrageira, em decorrência do rompimento dos tecidos vegetais e da exposição dos polissacarídeos presentes em sua composição, que variam conforme a adubação empregada, a disponibilidade hídrica e a idade da planta no momento da colheita. A presença da mucilagem confere à palma uma característica particular entre as forrageiras, pois essa matriz polissacarídica contribui para a redução das perdas por efluentes quando utilizada na forma de silagem, ao dificultar a liberação de água (Soares, 2021). Contudo, são necessários cuidados quanto ao tamanho de partícula, a fim de evitar a maceração excessiva dos cladódios e a liberação da água retida na mucilagem, sendo recomendadas partículas entre 2 e 5 cm (Cordeiro *et al.*, 2023).

Tradicionalmente, a palma é fornecida *in natura*, em cortes diários, prática que demanda elevada mão de obra e restringe sua utilização contínua. A ensilagem surge, portanto, como estratégia para conservação e manejo mais eficiente quando comparado ao corte frequente, proporcionando diminuição dos custos de produção e melhorando a logística do sistema produtivo (Dubeux Júnior, 2021; Alves *et al.*, 2023). Entretanto, a inclusão excessiva de palma na ensilagem pode aumentar as perdas de nutrientes por efluente, devido à elevada umidade em sua composição. Segundo o estudo de Alencar *et al.* (2023), até 40% de inclusão na ensilagem não ocasiona prejuízos à qualidade nutricional da silagem, mas o limite exato de utilização segura ainda não está claramente definido, havendo lacunas que dificultam seu uso com o máximo proveito.

Embora o sorgo biomassa BRS 716 e a palma forrageira apresentem potencial para uso na nutrição animal, ainda são escassos os estudos que avaliam a combinação dessas forrageiras no processo de ensilagem, o que dificulta um manejo mais adequado, principalmente quando se busca um volumoso com boa qualidade nutricional e estabilidade fermentativa. Assim, torna-se necessário aprofundar o conhecimento sobre os efeitos dessa associação, para que se possa utilizar esses recursos forrageiros de forma mais eficiente.

Partiu-se da hipótese de que a inclusão de palma forrageira na ensilagem com o sorgo biomassa BRS 716 melhora a qualidade nutricional, dilui a fração fibrosa e não compromete o padrão fermentativo, contribuindo para a produção de um volumoso adequado às condições do semiárido. Diante disso, o objetivo do estudo foi identificar o nível ótimo de inclusão de palma para essa finalidade. Para tanto, foram avaliadas a composição nutricional e a qualidade fermentativa e microbiológica de silagens mistas de sorgo biomassa BRS 716 com diferentes proporções de palma forrageira.

Material e Métodos

Declaração de ética

Todos os procedimentos envolvendo animais foram aprovados pela comissão de Ética no Uso de Animais da Universidade Estadual de Montes Claros (CEUA/Unimontes), sob o protocolo nº 007/2022.

Local do experimento

O estudo foi conduzido no Laboratório de Análise de Alimentos e Nutrição Animal da Universidade Estadual de Montes Claros (UNIMONTES), localizado no município de Janaúba, Minas Gerais (15°52'52" S, 43°20'22" W, altitude de 516 m). O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw, caracterizado por estação seca no inverno e chuvosa no verão. A média pluviométrica anual da região fica em torno de 750 mm, enquanto a temperatura média gira em torno de 27 °C. O clima enquadra-se como tropical mesotérmico, tendendo ao megatérmico em função da altitude, sendo classificado entre subúmido e semiárido. As chuvas são mal distribuídas ao longo do ano, o que resulta em prolongados períodos de estiagem.

Tratamentos e delineamento experimental

O material ensilado constituiu-se em sorgo biomassa BRS 716 (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) associado a níveis crescentes de inclusão de palma forrageira IPA Sertânia

(Nopalea cochenillifera) na matéria natural, correspondentes a 0, 15, 30, 45 e 60%. Os tratamentos foram distribuídos em delineamento inteiramente casualizado, com cinco níveis de inclusão de palma e doze repetições, totalizando 60 unidades experimentais.

Cultivo e preparo dos materiais

O sorgo biomassa BRS 716 foi cultivado na Fazenda Experimental da UNIMONTES, em área previamente preparada por aração e gradagem, recebendo adubação conforme análise de solo realizada antes do plantio. O corte foi realizado aos 160 dias após o plantio, e o material foi picado em colhedora de forragem JF-90, regulada para obtenção de partículas de aproximadamente 2 cm.

A palma forrageira foi colhida manualmente na Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), Campo Experimental de Gortuba, com aproximadamente 720 dias de idade, preservando-se o cladódio primário e três secundários, realizando o corte dos demais cladódios. Em seguida, o material foi processado em fatiadora MC1N (Laboremus), regulada para obtenção de partículas entre 2 e 5 cm, evitando a maceração excessiva. Durante a montagem dos silos, os materiais foram pesados em balança mecânica para assegurar a proporção correta entre sorgo e palma em cada tratamento.

Processo de ensilagem

Foram utilizados 60 silos experimentais confeccionados em tubos de PVC (policloreto de vinila) de peso conhecido, com 50 cm de comprimento e 10 cm de diâmetro. No fundo dos silos foram colocados 13 cm de areia seca (500 g), separados da forragem por uma camada de tecido não tecido (TNT) para quantificar o efluente produzido. Após a homogeneização dos ingredientes, o material resultante foi colocado nos silos e compactado com êmbolo de madeira.

Para cada tratamento, adotou-se densidade de aproximadamente 550 kg/m³ de matéria natural, com cerca de 4 kg de material por silo. Após o enchimento, os silos foram fechados com tampas de PVC equipadas com válvulas tipo Bunsen, vedados com fita adesiva, pesados e armazenados à temperatura ambiente no Laboratório de Análise de Alimentos e Nutrição Animal da UNIMONTES. A abertura ocorreu aos 90 dias após a ensilagem.

Análise da composição química das silagens

As amostras foram coletadas de cada silo de forma homogênea, de modo a representar o conteúdo real do silo. Em seguida, foram pré-secas em estufa com ventilação

forçada a 55 °C por 72 horas e moídas em moinho de facas com peneira de 1 mm para a realização das análises laboratoriais. Uma parte do material também foi moída em peneira de 2 mm, sendo destinada à incubação *in situ*.

Foram analisados: matéria seca (INCT-CA G-001/2 e G-003/2), proteína bruta (INCT-CA N-001/2), extrato etéreo (INCT-CA G-005/2), matéria orgânica e matéria mineral (INCT-CA M-001/2), fibra em detergente neutro (FDN; INCT-CA F-002/2) com correção para cinzas (INCT-CA M-002/2) e proteínas (INCT-CA N-004/2), fibra em detergente ácido (FDA; INCT-CA F-003/2), compostos nitrogenados insolúveis em detergente neutro (NIDN), lignina (INCT-CA F-007/2) e carboidratos não fibrosos (Detmann *et al.*, 2021). Os carboidratos solúveis em água foram estimados com base na metodologia apresentada em Silva e Queiroz (2002). O teor de nutrientes digestíveis totais (NDT) foi estimado de acordo com NRC (2001).

Tabela 1. Composição química (g/kg MS) do sorgo biomassa BRS 716 e da palma forrageira

Item	Sorgo BRS 716	Palma
	<i>In natura</i>	
MS	290,06	104,43
MM	65,04	164,24
PB	50,61	41,55
EE	23,79	8,84
CNF	319,74	599,88
MOR	253,04	552,98
Amido	66,70	46,90
CHOsol	107,30	159,10
FDNcp	540,82	185,49
FDNi	251,67	128,44
FDNpd	346,82	249,17
FDAi	85,24	41,25
Lignina	48,24	34,08
PIDN	23,08	18,10
PIDA	14,71	8,10
NDT	539,18	593,32

MM – matéria mineral; CNF – carboidratos não fibrosos; MS – matéria seca; MM – matéria mineral; PB – proteína bruta; EE – Extrato Etéreo; CHOsol – carboidratos solúveis; MOR – matéria orgânica residual; FDNcp – fibra insolúvel em detergente neutro corrigido para cinzas e proteína; FDNpd – fibra insolúvel em detergente neutro potencialmente digestível; FDAi – fibra insolúvel em detergente ácido indigestível; PIDN – proteína insolúvel em detergente neutro; PIDA – proteína insolúvel em detergente ácido; NDT – nutrientes digestíveis totais.

Perdas fermentativas

As perdas de matéria seca das silagens, tanto na forma de gases quanto de efluentes, foram determinadas por meio da diferença de peso, seguindo a metodologia descrita por

Jobim *et al.* (2007). A perda de matéria seca na forma de gases foi obtida pela diferença entre o peso bruto inicial e o final da matéria seca ensilada, em relação à quantidade de MS colocada no silo, descontando-se o peso do conjunto formado por silo e areia seca. A recuperação de MS (RMS) para cada silo foi calculada com base no peso inicial e final e nos teores de MS das forragens e silagens, conforme Zanine *et al.* (2010).

Estabilidade aeróbia

A estabilidade aeróbica foi determinada colocando-se uma amostra de silagem (aproximadamente 2 kg) de cada silo experimental em baldes plásticos de 4 L de capacidade, mantidos em sala à temperatura ambiente de 24,5 a 25,5 °C. A temperatura da silagem foi medida a cada hora, utilizando-se *data logger* colocado no centro da massa, por nove dias. A temperatura ambiente também foi registrada a cada hora por meio de coletor de dados próximo aos baldes. A estabilidade aeróbica foi definida como o número de horas em que a temperatura da silagem permaneceu estável antes de aumentar mais de 2 °C acima da temperatura ambiente (Jobim *et al.*, 2007).

Avaliação do pH, nitrogênio amoniacal e ácidos orgânicos

O pH, o nitrogênio amoniacal (N-NH₃) e os ácidos orgânicos foram determinados a partir de extrato da silagem, obtido por prensagem. O pH foi medido com potenciômetro (DM-22, Digimed, São Paulo, SP, Brasil), e o N-NH₃ segundo técnica descrita em Detmann *et al.* (2021). A quantificação dos ácidos orgânicos foi realizada por cromatografia gasosa de alta eficiência, utilizando-se um sistema Shimadzu® Prominence, modelo 20A (Kyoto, Japão), acoplado a detector UV-Vis operando no comprimento de onda de 210 nm. As amostras foram injetadas por meio de amostrador automático, com volume fixo de 5 µL, e separadas em coluna Rezex™ ROA – Ácido Orgânico (300 × 7,8 mm; Phenomenex), mantida a 60 °C. A fase móvel consistiu em solução de H₂SO₄ a 2,5 mM, empregada sob vazão constante de 0,6 mL min⁻¹. A quantificação foi realizada com base em curvas de calibração obtidas a partir de padrões externos.

Análises microbiológicas

A contagem microbiana foi realizada conforme González e Rodrigues (2003). Amostras de 25 g de silagem fresca foram diluídas em 225 mL de água destilada e homogeneizadas por 1 minuto. Em seguida, foram preparadas diluições seriadas (10⁻¹ a 10⁻⁹), com plaqueamento em duplicata.

Utilizou-se meio Man, Rogosa e Sharpe (MRS) para contagem de bactérias ácido-láticas, após 48 horas a 37 °C; meio BDA acidificado com ácido tartárico a 1% para contagem de leveduras e bolores, após 48 horas à temperatura ambiente; e meio Ágar Brilliant Green Bile para contagem de enterobactérias, após 24 horas a 35 °C. Foram considerados valores entre 30 e 300 unidades formadoras de colônia (UFC) por placa. A diferenciação entre leveduras e bolores foi feita pela morfologia das colônias. A atividade de água (Aw) foi avaliada pelo método de Lutz (1985).

Enumeração e identificação de bactérias ácido-láticas por MALDI-TOF

Alíquotas de 0,1 mL das diluições 10^{-1} a 10^{-3} foram inoculadas em ágar MRS e incubadas a 36 °C por 48 h (IDF, 1988; Resende *et al.*, 2011). Após o crescimento, até cinco colônias com características morfológicas distintas foram selecionadas, transferidas para tubos Eppendorf contendo caldo MRS e 40% de glicerina e armazenadas sob congelamento.

Após reativação, as colônias foram estriadas em placas com ágar MRS para isolamento. Em seguida, o material foi encaminhado ao Laboratório Qualileite (FMVZ–USP) para análise por espectrometria de massas por MALDI-TOF (Microflex™ Bruker Daltonics). Uma colônia fresca foi transferida para placa-alvo de aço inoxidável (MSP 384). Antes das medições, uma solução padrão (Bacterial Test Standard, BTS; Bruker) foi utilizada para calibração. Controles positivo (*Escherichia coli*) e negativo (ácido fórmico + matriz) foram analisados em cada placa. Os espectros foram obtidos na faixa de 2.000 a 20.000 m/z, em modo linear, com 3.000 disparos de *laser*. As amostras foram comparadas a banco de dados de referência, considerando-se pontuações ≥ 2.000 como identificações confiáveis em nível de espécie.

Digestibilidade *in vitro* das silagens

A digestibilidade *in vitro* da matéria seca e da FDN foi determinada conforme descrição apresentada em Detmann *et al.* (2021), utilizando-se incubadora *in vitro* Tecnal® (TE-150) e sacos de tecido não tecido (TNT, gramatura 100) (Casali *et al.*, 2009). A relação amostra/área dos sacos seguiu 20 mg de MS cm^{-2} (Nocek, 1988). O líquido ruminal foi obtido de dois bovinos fistulados, misturado em proporções iguais.

Análises estatísticas

Os dados foram submetidos à análise de variância utilizando-se o procedimento GLM do SAS (SAS Institute, Inc., Cary, NC, EUA). A normalidade dos resíduos e a detecção de *outliers* foram avaliadas pelo procedimento UNIVARIATE. As variáveis referentes ao perfil

fermentativo e à composição químico-bromatológica foram analisadas considerando-se o modelo:

$$Y_{ij} = \mu + L_i + \epsilon_{ij}$$

em que: Y_{ij} = valor observado na j -ésima repetição do i -ésimo nível de inclusão de palma; μ = média geral; L_i = efeito do nível de inclusão de palma (0, 15, 30, 45 e 60%); ϵ_{ij} = erro aleatório.

Quando o efeito foi significativo ($P < 0,05$), procedeu-se à análise de regressão polinomial, ajustando-se modelos linear e quadrático e selecionando-se aquele com maior significância estatística e melhor ajuste, conforme coeficiente de determinação:

$$y = \beta_0 + \beta_1x + \beta_2x^2$$

Para a análise exploratória de dados por meio de análise de componentes principais (PCA) e *cluster*, foi utilizado o *software* PAST® 4.03 (Hammer *et al.*, 2001).

Resultados

Composição química

Houve efeito dos níveis de palma sobre o teor de matéria seca (MS) das silagens (Tabela 2). O comportamento foi linear decrescente, com diminuição estimada de 0,198 unidades percentuais para cada 1% de palma adicionada.

Tabela 2. Composição química, digestibilidade e atividade de água (Aw) de silagens de sorgo biomassa BRS 716 com níveis crescentes de palma forrageira em g/kg de MS.

Item, g/kg de	Tratamentos					EPM	P-valor Níveis	P-valor Linear	P-valor Quadrática
	Níveis de inclusão de palma forrageira (%)								
MS	0	15	30	45	60				
MS	26,71	23,17	19,74	16,77	15,04	0,61	0,001	0,001	0,08
MM	7,37	10,92	11,71	12,41	14,92	0,81	0,001	0,001	0,48
MO	92,63	89,08	88,29	87,59	85,08	0,81	0,001	0,001	0,48
PB	4,02	3,87	3,93	4,41	4,59	0,17	0,01	0,001	0,09
EE	2,37	2,08	1,69	1,47	1,67	0,16	0,001	0,001	0,06
FDNcp	68,00	64,45	60,89	62,60	52,26	1,26	0,001	0,001	0,08
FDA	36,62	37,08	34,43	34,26	32,89	1,46	0,23	0,03	0,83
HEM	36,11	32,70	33,59	33,72	26,67	1,46	0,001	0,001	0,15
CNF	13,50	13,37	13,73	14,65	19,27	1,44	0,03	0,001	0,10
CHOsol	6,30	7,92	9,66	7,19	11,78	0,47	0,001	0,001	0,32
NDT	51,21	52,94	56,26	54,90	57,37	1,15	0,001	0,001	0,46
MSi	31,37	33,08	30,79	32,94	29,46	1,01	0,08	0,22	0,12
FDNi	26,92	27,99	25,71	27,72	24,42	0,86	0,03	0,06	0,17
AW	0,98	0,98	0,98	0,98	0,99	0,00	0,001	0,001	0,70
DIV	50,85	53,01	57,15	55,46	58,54	1,43	0,00	0,0	0,46

EPM – erro padrão da média; CNF – carboidratos não fibrosos; MS – matéria seca; MM – matéria mineral; MO – matéria orgânica; PB – proteína bruta; EE – extrato etéreo; CHOsol – carboidratos solúveis; MM – matéria mineral; FDN – fibra insolúvel em detergente neutro; FDNcp – fibra insolúvel em detergente neutro corrigido para cinzas e proteína; FDA – fibra insolúvel em detergente ácido; HEM – hemicelulose; NDT – nutrientes digestíveis totais; MSi – matéria seca indigestível; FDNi – fibra em detergente neutro indigestível; Aw – atividade de água; DIV – digestibilidade *in vitro* da matéria seca;

Matéria seca (MS): $\hat{Y} = 26,233500 - 0,198289X$, $R^2 = 98,53\%$; Cinzas (MM): $\hat{Y} = 8,149833 + 0,110561X$, $R^2 = 91,91\%$; Matéria orgânica (MO): $\hat{Y} = 91,850167 - 0,110561X$, $R^2 = 91,91\%$; Proteína bruta (PB): $\hat{Y} = 3,830167 + 0,011183X$, $R^2 = 69,60\%$; Extrato etéreo (EE): $\hat{Y} = 2,259500 - 0,013450X$, $R^2 = 77,40\%$; FDNcp: $\hat{Y} = 68,304500 - 0,222211X$, $R^2 = 80,61\%$; FDA: $\hat{Y} = 37,110500 - 0,068528X$, $R^2 = 86,30\%$; Hemicelulose: $\hat{Y} = 36,128500 - 0,119106X$, $R^2 = 64,17\%$; CNF: $\hat{Y} = 12,522500 + 0,079333X$, $R^2 = 56,97\%$; Carboidratos solúveis: $\hat{Y} = 6,524000 + 0,068183X$, $R^2 = 55,13\%$; NDT: $\hat{Y} = 51,676000 + 0,095300X$, $R^2 = 82,49\%$; MSi: nenhum modelo de regressão

significativo; FDNi: nenhum modelo de regressão significativo; Aw: $\hat{Y} = 0,975450 + 0,000168X$, $R^2 = 98,12\%$; DIV: $\hat{Y} = 51,434833 + 0,118856X$, $R^2 = 82,49\%$;

Foram observadas maiores concentrações de minerais à medida que os níveis de inclusão de palma foram aumentando. Estima-se elevação de 0,1106 unidades percentuais para cada 1% adicional de palma. Em contrapartida, a matéria orgânica apresentou redução estimada de 0,1106 unidades percentuais a cada 1% de inclusão, passando de 92,63% na silagem controle para 85,08% em 60% de inclusão.

Para PB, o aumento estimado foi de 0,0111 unidades percentuais por 1% de inclusão, com variação de 4,02% (0%) para 4,59% (60%). O EE apresentou redução aproximada de 0,01345 unidades percentuais. As silagens com maior nível de inclusão apresentaram uma menor FDNcp, com redução média de 0,222 unidades percentuais por 1% de inclusão. Para a FDA não houve efeito dos níveis de inclusão de palma. A hemicelulose diminuiu em 0,119 unidades percentuais para cada 1% de palma.

Os CNF apresentaram aumento estimado de 0,0793 unidades percentuais para cada 1% de inclusão de palma na ensilagem. Já os CHOsol apresentaram aumento estimado de 0,0682 unidades percentuais. Os NDT também aumentaram, com elevação de 0,0953 unidades percentuais a cada 1% de palma na ensilagem.

Para matéria seca indigestível, não houve efeito dos níveis de inclusão de palma. A FDNi apresentou efeito, porém sem ajuste dos modelos de regressão. A Aw apresentou aumento médio de 0,000168 unidades por 1% de inclusão de palma. A digestibilidade *in vitro* da matéria seca aumentou em 0,1188 unidades percentuais para cada 1% adicional de palma.

Perdas de matéria seca e perfil fermentativo

Houve efeito dos níveis de inclusão de palma forrageira, com ajuste linear crescente, para o pH das silagens, estimando-se aumento de 0,016811 unidades de pH para cada 1% de palma. Em relação à temperatura da massa ensilada durante a exposição aeróbia, o comportamento foi quadrático, com ponto de máxima estimado em 30% de inclusão de palma.

O ácido succínico (Tabela 3) aumentou em 0,001194 g/kg de MS para cada 1% de palma. Para o ácido lático, embora tenha havido efeito significativo entre os níveis de inclusão, não houve ajuste para os modelos de regressão. Não houve efeito dos níveis de palma sobre os ácidos acético, propiônico e butírico das silagens. A relação lático:acético e o

N-NH₃ apresentaram comportamento linear decrescente com os níveis de palma nas silagens, com redução estimada de 0,0457 e 0,118 unidades percentuais para cada 1% de palma, respectivamente.

O índice de recuperação da matéria seca ajustou-se ao modelo quadrático de regressão, com ponto de mínima em 43,15% de inclusão de palma. As perdas por efluente apresentaram aumento estimado de 0,343 g/kg para cada 1% de palma. Não houve efeito dos níveis de inclusão sobre perdas por gases

Tabela 3. Parâmetros de fermentação e perdas das silagens de sorgo biomassa BRS 716 com níveis crescentes de palma forrageira.

Item, g/kg de MS	Tratamentos					EPM	P-valor Níveis	P-valor Linear	P-valor Quadrática
	Níveis de inclusão de palma forrageira (%)								
	0	15	30	45	60				
Quebra de estabilidade (Horas)	96	144	120	144	96	2,77	0,02	0,001	0,001
pH	3,58	3,85	3,93	4,61	4,46	0,22	0,001	0,001	0,76
Ácido lático	4,73	5,91	2,32	4,98	3,67	0,71	0,001	0,18	0,63
Ácido succínico	0,09	0,17	0,07	0,15	0,18	0,03	0,001	0,004	0,44
Ácido acético	0,56	0,51	0,56	0,58	0,54	0,03	0,47	0,79	0,94
Ácido propiônico	1,32	1,16	1,40	1,39	1,44	0,12	0,50	0,23	0,71
Ácido butírico	0,78	0,75	0,83	0,91	0,96	0,08	0,32	0,004	0,60
Relação lático/acético	8,48	11,30	3,73	8,31	6,55	1,07	0,001	0,005	0,46
N-NH ₃ , % NT	20,15	19,78	12,65	12,25	15,03	2,10	0,002	0,001	0,10
Recuperação de matéria seca	86,38	84,21	79,42	66,08	80,28	2,88	0,001	0,001	0,002
Perdas por efluente g/kg de MV	48,96	53,99	53,81	75,87	63,77	4,30	0,000	0,001	0,46
Perdas por gases	21,61	17,95	24,34	32,16	26,48	5,37	0,42	0,16	0,89

EPM – erro padrão da média; N-NH₃, % NT – nitrogênio amoniacal em porcentagem do nitrogênio total; EPM – erro padrão da média; P – probabilidade.

Estabilidade aeróbica: $\hat{Y} = 99,429 + 2,7429X + 0,0457X^2$ R²=0,64; pH: $\hat{Y} = 3,579167 + 0,016811X$ R²=84,42; Ácido succínico: $\hat{Y} = 0,097667 + 0,001194X$, R² = 33,25%; Ácido lático: nenhum modelo de regressão significativo; Ácido acético: nenhum modelo de regressão significativo; Ácido propiônico: nenhum modelo de regressão significativo; Ácido butírico: nenhum modelo de regressão significativo; Relação lático/acético: $\hat{Y} = 9,043167 -$

0,045700X, $R^2 = 15,15\%$; N-NH³, % NT: $\hat{Y} = 19,525167 - 0,118467X$, $R^2 = 54,69\%$; RMS: $\hat{Y} = 88,800310 - 0,663280X + 0,007684X^2$, $R^2 = 53,53\%$; Perdas por efluente: $\hat{Y} = 48,976667 + 0,343339X$, $R^2 = 57,68\%$; Perdas por gases: nenhum modelo de regressão significativo;

Microbiologia

Houve efeito dos níveis de inclusão de palma para as bactérias ácido-láticas (BAL) com ajuste quadrático. O ponto de mínima estimado foi de 23,92% de inclusão de palma. Não houve efeito dos níveis de palma sobre a população de enterobactérias (Tabela 4). Para a população de bolores e leveduras, houve ajuste quadrático, com ponto de máxima estimado em 31,04% de inclusão de palma.

Tabela 4. População bacteriana das silagens de sorgo biomassa BRS 716 com níveis crescentes de palma forrageira.

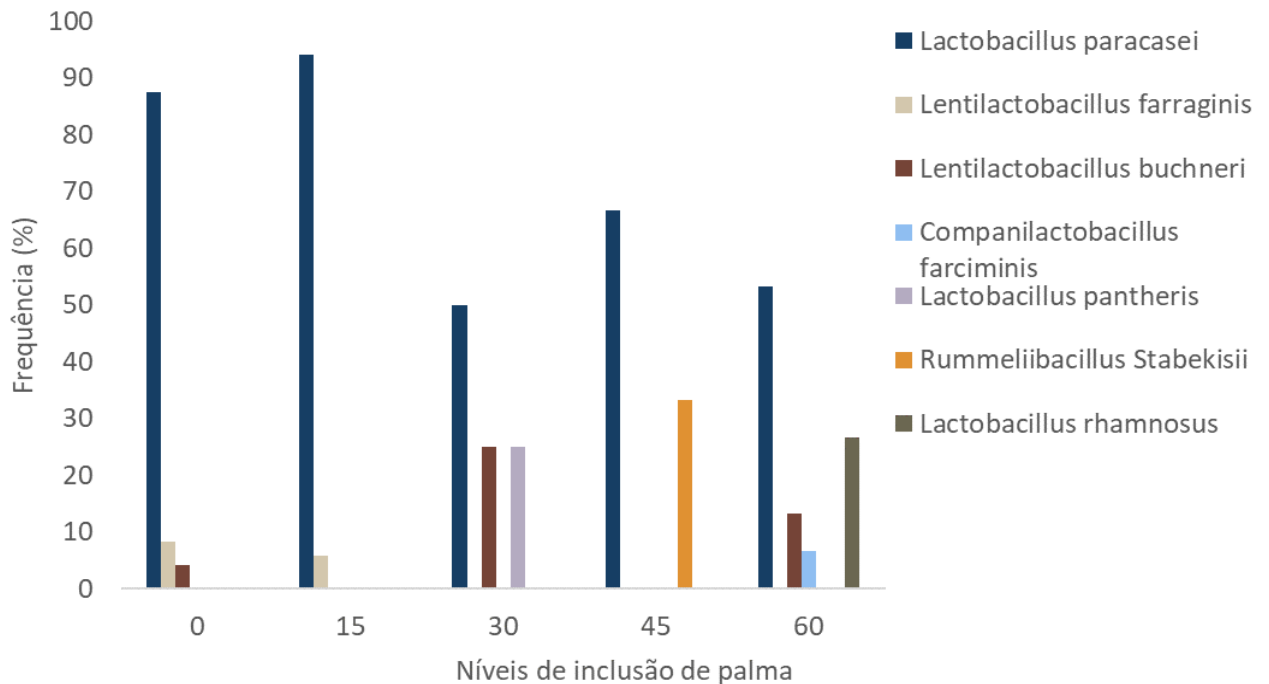
Item, Log UFC/g	Tratamentos					EPM	P-valor Níveis	P-valor Linear	P-valor Quadrática
	Níveis de inclusão de palma forrageira (%)								
	0	15	30	45	60				
BAL	7,50	7,12	6,33	7,99	8,00	0,39	0,02	0,13	0,02
Enterobactérias	1,44	1,00	1,00	1,68	1,00	0,25	0,16	0,79	0,82
Bolores e leveduras	3,47	4,14	4,19	4,26	3,55	0,18	0,00	0,65	0,00

EPM – erro padrão da média; BAL – bactérias ácido-láticas; P – probabilidade.

BAL: $\hat{Y} = 7,472667 - 0,048889X + 0,001022X^2$ $R^2 = 55,98$; Enterobactérias: nenhum modelo de regressão significativo; Bolores: $\hat{Y} = 3,476619 + 0,053884X - 0,000868X^2$, $R^2 = 94,12\%$;

Diferentes espécies de bactérias ácido-láticas foram identificadas em função dos níveis de inclusão de palma forrageira na silagem (Figura 1). *Lactobacillus paracasei* foi a espécie predominante em todos os tratamentos, com maiores frequências nos níveis de 0 e 15% de inclusão, seguida de redução relativa nos níveis de 30 a 60%. *Lentilactobacillus farraginis* foi identificada apenas nos níveis de 0 e 15%, não sendo detectada nos demais tratamentos. *Lactobacillus pantheris* ocorreu exclusivamente no nível de 30% de inclusão de palma nas silagens. *Lentilactobacillus buchneri* foi identificada nos níveis de 0, 30 e 60%. Já *Rummeliibacillus stabekisii* foi identificado exclusivamente no nível de 45% de inclusão de palma. *Lactobacillus rhamnosus* foi detectada apenas no nível de 60% de inclusão.

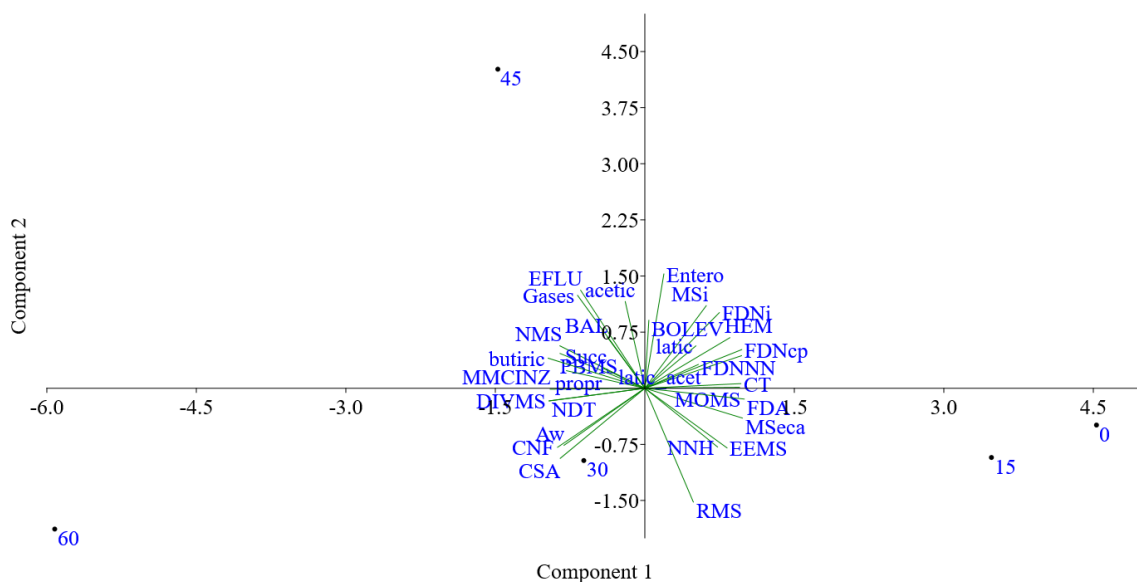
Figura 1. Distribuição da ocorrência de espécies de bactérias ácido-láticas identificadas em silagens com diferentes níveis de inclusão de palma forrageira.



Análise dos componentes principais

Em relação à análise de componentes principais (PCA), verificou-se que os dois primeiros componentes principais explicaram 75,798% da variabilidade total dos dados, sendo 56,644% atribuídos ao Componente Principal 1 (CP1) e 19,154% ao Componente Principal 2 (CP2) (Figura 2). O terceiro e quarto componentes explicaram 14,342% e 9,860% da variância, respectivamente, totalizando 100% da variabilidade explicada.

Figura 2. Análise de componentes principais sobre o comportamento das variáveis dentro dos tratamentos.



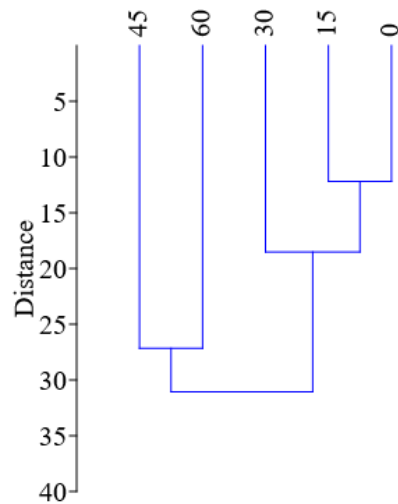
O tratamento controle (0% de palma) apresentou posicionamento mais distante no sentido positivo do CP1, enquanto o nível de 60% deslocou-se no sentido negativo desse mesmo componente. O tratamento com 45% destacou-se ao longo do eixo vertical (CP2), enquanto o nível de 30% concentrou-se próximo à origem dos eixos, indicando maior proximidade com a média multivariada dos dados. O tratamento com 15% apresentou posição intermediária em relação aos demais níveis avaliados, também no sentido positivo do CP1.

No CP1, observaram-se cargas fatoriais positivas para matéria seca (MS = 0,2276), matéria orgânica (MO = 0,2209), fibra em detergente neutro corrigida para cinzas e proteína (FDN_{cp} = 0,2260), fibra em detergente neutro (FDN = 0,2255), fibra em detergente ácido (FDA = 0,2318), carboidratos totais (CT = 0,2239) e hemicelulose (HEM = 0,1983). Em sentido oposto, foram observadas cargas negativas para digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS = -0,2233), nutrientes digestíveis totais (NDT = -0,2233), matéria mineral (MM = -0,2209), proteína bruta (PB = -0,1980), carboidratos não fibrosos (CNF = -0,2037) e carboidratos solúveis (CSA = -0,1973).

No CP2, destacaram-se cargas positivas para produção de efluente (EFLU = 0,3045), produção de gases (0,2886), enterobactérias (0,3550), matéria seca indigestível (MSi = 0,2566), fibra em detergente neutro indigestível (FDNi = 0,2349), bolores e leveduras (BOLEV = 0,2111), ácido acético (0,2692) e ácido lático (0,1317). As maiores cargas negativas nesse componente foram observadas para recuperação de matéria seca (RMS = -0,3534) e atividade de água (Aw = -0,1771).

A análise de Cluster ou agrupamento hierárquico dos tratamentos, representada pelo dendrograma (Figura 3), indicou padrões de similaridade entre os níveis de inclusão de palma. Os tratamentos com 0% e 15% apresentaram menor distância de ligação, formando o primeiro agrupamento, ao qual posteriormente se associou o tratamento com 30%. Os tratamentos com 45% e 60% apresentaram maiores distâncias em relação aos demais, sendo agrupados separadamente, o que sugere uma maior similaridade entre eles, mas diferenças entre os demais tratamentos.

Figura 3. Análise de Cluster sobre o comportamento das variáveis dentro dos tratamentos.



Discussão

O procedimento de ensilagem é um método estratégico para conservação de alimentos e água em regiões semiáridas e permite aproveitar a palma forrageira em associação com outras forragens, possibilitando o armazenamento desse recurso e sua utilização conjunta com diferentes materiais disponíveis na propriedade. No entanto, o elevado teor de umidade ainda representa uma limitação, o que foi confirmado neste experimento pela redução do teor de matéria seca à medida que se aumentou a inclusão de palma, característica comum em cactáceas adaptadas a ambientes semiáridos. Esse comportamento é coerente com estudos recentes, como o de Monção *et al.* (2024) e Alencar *et al.* (2023), que também relataram diminuição progressiva da MS em silagens de capim BRS Capiacu e palma forrageira.

Apesar disso, a redução da MS não implica necessariamente em perda de qualidade nutricional, uma vez que a palma possui elevada fração de carboidratos não fibrosos e mucilagem, o que pode favorecer o processo fermentativo e a estabilidade da silagem quando utilizada em níveis adequados. No entanto, mesmo com a ação da mucilagem, o alto teor de umidade exerceu efeito diluente sobre os componentes da massa ensilada, refletindo na diminuição do extrato etéreo, da FDNcp e da hemicelulose observada neste estudo. Esse comportamento está relacionado tanto ao baixo teor lipídico da palma no

momento da ensilagem quanto à diluição dos componentes de parede celular, decorrente da menor lignificação dos cladódios e da maior proporção de carboidratos não fibrosos. A diminuição da hemicelulose é reflexo da maior disponibilidade de carboidratos solúveis, que favorece a síntese de ácidos orgânicos e intensifica a degradação de componentes parcialmente estruturais (Paulino *et al.*, 2021; Cunha *et al.*, 2022).

No caso da PB, os resultados sugerem que, apesar do baixo conteúdo proteico da palma, não houve prejuízos quando associada ao sorgo biomassa BRS 716. Inclusive, houve leve aumento desse parâmetro, o que pode ser devido à presença da mucilagem na palma, que atuou como barreira impedindo a perda dos nutrientes por lixiviação. Esse efeito é reforçado pelos menores valores de nitrogênio amoniacal, mesmo em níveis elevados de palma no presente estudo, indicando menor proteólise durante a fermentação e, conseqüentemente, melhor preservação do componente nitrogenado da silagem. Considerando que o $N-NH_3$ é um dos principais indicadores de degradação proteica na silagem, a sua redução sugere baixa atividade clostridiana, fermentação estável e boa conservação da qualidade nutricional.

Esse comportamento difere do observado por Monção *et al.* (2024), que relataram redução linear de 0,0081 unidades percentuais de PB para cada 1% de palma adicionada em silagens de capim BRS Capiáçu, possivelmente em função do menor teor proteico inicial do material e do efeito de diluição provocado pela elevada umidade. Por outro lado, Silva *et al.* (2025) observaram maior teor de PB em silagens compostas exclusivamente por palma quando comparadas a silagens contendo sorgo, como observado no presente estudo, demonstrando que, a depender do volumoso, a palma pode contribuir para o teor de PB da silagem. Assim, os resultados obtidos reforçam que o impacto da palma sobre a PB depende do material com o qual ela é associada. Em sistemas baseados em sorgo biomassa, cuja PB inicial já é limitada, a inclusão da palma tende a manter valores estáveis, sem prejuízos nutricionais.

O aumento dos carboidratos solúveis e dos carboidratos não fibrosos, associado à redução da fração fibrosa, sugere aumento da quantidade de substrato fermentável e direcionamento da fermentação para rotas mais eficientes, como discutido por Cunha *et al.* (2022) e Paulino *et al.* (2021). Esse resultado explica a melhoria na digestibilidade *in vitro* da MS no presente estudo, também observada em combinações de sorgo biomassa + palma no estudo de Cordeiro *et al.* (2023), nas quais a maior disponibilidade de fração solúvel

favoreceu o aproveitamento ruminal dos nutrientes. Pereira *et al.* (2025) destacam que a presença de mucilagem e carboidratos rapidamente fermentáveis pode elevar a digestibilidade, mesmo quando a silagem apresenta menor teor de matéria seca, reforçando o efeito positivo sobre a fração potencialmente degradável da MS. Assim, a elevação do NDT pode ser interpretada como consequência direta da maior participação de componentes altamente fermentáveis associados à palma, refletindo em melhor aproveitamento energético do material ensilado.

A maior concentração de minerais na palma justifica a elevação da fração mineral das silagens com o acréscimo dessa forrageira. Monção *et al.* (2024) também observaram aumento das cinzas em silagens de capim BRS Capiaçú com palma, com aproximadamente 0,0416% de aumento para cada 1% de palma. Da mesma forma, Cunha *et al.* (2022) relataram aumento de K, Ca, Mg, Na, B e Zn, bem como redução de P em silagens de gramíneas com palma. Alencar *et al.* (2023) também observaram maiores teores de cinzas em silagens mistas contendo 40% de palma, atribuídos ao teor mineral médio dos cladódios, em torno de 131 g/kg de MS.

O alto teor mineral da palma influencia diretamente no poder tampão, que pode ser interpretado como a resistência do meio ao abaixamento do pH, como observado em níveis mais elevados de palma no presente estudo. O poder tampão aumenta proporcionalmente aos níveis de inclusão da palma, prolongando a permanência do pH em valores elevados e exigindo maior atividade das bactérias ácido-láticas (BAL) para que a acidificação ocorra. Soma-se a isso o fato de que a maioria dos microrganismos presentes na silagem utiliza os mesmos substratos energéticos das bactérias ácido-láticas, competindo diretamente pelos açúcares disponíveis, dificultando ainda mais as ações das bactérias produtoras de ácido láctico (Araújo *et al.*, 2023; Wróbel *et al.*, 2023), o que explica a redução desse ácido observada na maior proporção de palma, mesmo com o aumento das BAL no mesmo nível. Monção *et al.* (2024) afirmam que, após o fechamento do silo, a síntese de ácido láctico deveria se aproximar de 10% da matéria seca para garantir queda rápida do pH. Porém, esse padrão dificilmente é alcançado quando a palma compõe grande parte da massa, justamente devido ao seu alto poder tampão e à maior atividade microbiana inicial.

Os resultados diferem dos de Alencar *et al.* (2023), que registraram comportamento distinto ao trabalharem com silagens de sorgo biomassa BRS 716 e palma, obtendo maior concentração de ácido láctico, associado à menor atividade de água, condição que favorece a

atuação das bactérias ácido-láticas. Já Monção *et al.* (2024) verificaram diminuição do ácido lático em silagens de capim BRS Capiáçu, forragem naturalmente úmida no momento de corte, com inclusão de palma, assim como Alencar *et al.* (2023) ao utilizarem a mesma base forrageira, o que reforça que maior atividade de água e capacidade tampão favorecem rotas fermentativas não láticas e ampliam a competição microbiana.

Assim, o padrão de aquecimento observado nas silagens reflete as condições fermentativas estabelecidas durante o processo anaeróbio e apresenta relação direta com o acúmulo de ácido lático, explicando a tendência à quebra da estabilidade mais precoce observada nos níveis de 0, 30 e 60% de inclusão, que apresentaram as menores concentrações desse ácido. O aumento da temperatura é reconhecido como um dos primeiros sinais de instabilidade aeróbia, e a adoção do critério de 2 °C acima da temperatura ambiente, conforme proposto por Jobim *et al.* (2007), permite a identificação do momento de quebra da estabilidade. A resistência ao aquecimento pode estar associada também à umidade da silagem, em função da maior atividade fermentativa decorrente do aumento da atividade de água, conforme observado no presente estudo, diferentemente das silagens mais secas, que apresentam fermentações mais restritas. Ainda que os níveis de 0 e 60% de inclusão tenham apresentado menor tempo de resistência, a quebra da estabilidade aeróbia ocorreu apenas após 96 h de exposição em todas as silagens.

O aumento linear do ácido succínico nas silagens com maiores níveis de inclusão de palma pode estar associado à maior atividade de enterobactérias durante a fase inicial da fermentação. Esses microrganismos, classificados como anaeróbios facultativos, conseguem se desenvolver logo após o fechamento do silo, utilizando carboidratos solúveis como substrato e competindo com as bactérias produtoras de ácido lático nos primeiros dias do processo fermentativo. Entre os metabólitos gerados por essa via fermentativa encontram-se o ácido acético, o etanol, o CO₂ e compostos indicativos da presença dessas bactérias, como ácido succínico, acetoína e 2,3-butanodiol (Ávila, 2020). Dessa forma, o aumento desse ácido nas silagens com maior participação de palma sugere maior atuação inicial de enterobactérias, possivelmente favorecida pela alteração do perfil de substratos fermentáveis decorrente da inclusão desse ingrediente na massa ensilada.

Os baixos valores de ácido butírico nas silagens sugerem que as condições fermentativas não favoreceram o desenvolvimento de bactérias do gênero *Clostridium*. A literatura ressalta que a formação de ácido butírico está associada a fermentações

indesejáveis, com perdas energéticas e redução do consumo pelos animais, sendo que concentrações superiores a 10 g/kg de MS refletem em intensa atividade clostridiana e comprometem a qualidade da silagem (Roth *et al.*, 1995). De forma similar, McDonald *et al.* (1995) destacam que valores acima de 5 g/kg de MS já indicam fermentação butírica suficiente para causar impacto negativo sobre a estabilidade e a ingestão. No presente estudo, as silagens apresentaram média de 0,84 g/kg de MS, abaixo dos limites indicadores de deterioração, caracterizando um processo fermentativo adequado. Valores baixos desse ácido também foram relatados por Alencar *et al.* (2023) em silagens contendo palma, os quais foram associados à menor disponibilidade de substratos e ao efeito osmótico que dificulta a multiplicação clostridiana.

A redução na relação láctico:acético com o aumento da palma reflete a alteração no equilíbrio fermentativo e a maior competição microbiana nas proporções mais elevadas de palma, diminuindo a predominância relativa do ácido láctico, como também relatado por Monção *et al.* (2024) em sistemas com inclusão crescente de palma.

A variação na composição bacteriana observada com os níveis de inclusão da palma está diretamente relacionada às modificações no ambiente fermentativo impostas pelo maior teor mineral, pela elevação do poder tampão e dos carboidratos solúveis e pelo aumento da atividade de água da massa ensilada, condição típica de silagens com elevada participação de palma. Durante o início da fermentação, ocorre rápida substituição da microbiota epífita por bactérias ácido-láticas (BAL), processo no qual a composição microbiana passa a refletir as condições físico-químicas estabelecidas no silo (Guo, 2023).

Em menores proporções de palma, a predominância recorrente de *Lactobacillus paracasei* indica um ambiente fermentativo mais seletivo, favorável à fermentação láctica. Essa espécie é reconhecida por sua elevada capacidade de acidificação, além de apresentar propriedades antibacterianas e antifúngicas superiores às de outras BAL, o que contribui para rápida redução do pH e menor pressão competitiva entre microrganismos (Soundharrajan *et al.*, 2025), resultado compatível com o perfil fermentativo das silagens de 0 a 30% de inclusão, que apresentaram menores valores de pH em relação às demais.

Com o aumento da participação da palma na massa ensilada, observa-se ampliação da diversidade bacteriana, com identificação de espécies heterofermentativas, como *Lentilactobacillus buchneri*, além de lactobacilos com menor especialização metabólica, como *Lacticaseibacillus pantheris* e *Companilactobacillus farciminis*. Essa alteração

microbiana é característica de ambientes com maior atividade de água e maior resistência à acidificação, nos quais a manutenção do pH em valores mais elevados por período prolongado reduz o direcionamento exclusivo da fermentação para rotas estritamente lácticas e favorece a coexistência de diferentes grupos bacterianos (Guo, 2023; Monção *et al.*, 2024).

Nesse contexto, a presença de *Lentilactobacillus buchneri* assume papel relevante. Embora a fermentação heterofermentativa resulte em menor eficiência energética quando comparada à rota láctica primária, o ácido acético produzido apresenta maior efeito inibitório sobre o crescimento fúngico do que o ácido láctico, como relatado por Gomes *et al.* (2021) ao avaliarem bactérias obrigatoriamente heterofermentativas em silagem de cana-de-açúcar, em que *L. buchneri* se mostrou mais eficaz na extensão da estabilidade aeróbia e na melhoria da recuperação de nutrientes durante a fermentação. Resultados semelhantes foram relatados por Santos *et al.* (2023), em que a inoculação da silagem de milho com *L. buchneri* ativado estimulou a produção simultânea de ácido láctico e ácido acético por microrganismos aeróbios facultativos, promovendo adequada redução do pH e controle do desenvolvimento de leveduras e bolores, sendo a maior produção de ácido acético um indicativo direto da atividade dessa espécie na massa ensilada.

Em níveis mais elevados de inclusão de palma, a aparição de microrganismos não associados à fermentação láctica desejável, como *Rummeliibacillus stabekisii* no nível de 45%, reflete um ambiente fermentativo menos seletivo, no qual a elevada umidade e o poder tampão limitam a eficiência da acidificação. A presença de *R. stabekisii* também sugere maior contato da silagem com o oxigênio, uma vez que essa espécie é descrita como estritamente aeróbia (Vaishampayan *et al.*, 2009). Devido à natureza espessa dos cladódios da palma, a ocorrência de bolsões de ar entre as “fatias” pode ocorrer, considerando que o corte recomendado de até 1,2 cm para melhor compactação não é viável nesse material, já que um processamento mais intenso da palma pode implicar em maceração e aumento da *Aw*.

Esse perfil bacteriano influencia diretamente a dinâmica das populações de leveduras e bolores, como observado no presente estudo, em que os bolores e as leveduras apresentaram comportamento inverso. As leveduras utilizam açúcares e podem consumir ácido láctico, contribuindo para elevação do pH e redução da estabilidade aeróbia, enquanto os bolores, estritamente aeróbios, atuam principalmente após a abertura do silo, sendo

indicadores de deterioração e potenciais produtores de micotoxinas (Yi, 2023). A maior ocorrência de bolores na faixa intermediária de inclusão pode estar associada a condições mais favoráveis ao seu desenvolvimento aeróbio após abertura do silo, enquanto a redução em níveis mais elevados de palma pode refletir alteração na disponibilidade de substrato e no equilíbrio microbiano. Para as leveduras, o comportamento sugere que há um ponto em que a competição microbiana e a disponibilidade de substrato limitam seu crescimento, reduzindo momentaneamente sua participação.

Enterobactérias e bacilos também fazem parte desse contexto, por competirem diretamente com as bactérias ácido-láticas pelos carboidratos solúveis e, quando prevalecem, direcionam a fermentação para compostos menos desejáveis como o ácido acético e podem contribuir para aquecimento da silagem na presença de oxigênio (Silva, 2021). No presente estudo, não houve diferença significativa para enterobactérias, o que refletiu também na ausência de significância entre os níveis de inclusão de palma sobre o ácido acético, como já relatado anteriormente, reforçando que a competição microbiana não se intensificou a ponto de alterar substancialmente a rota fermentativa dominante.

Nesse contexto, os resultados deste estudo indicam que a palma não comprometeu a segurança microbiológica inicial, mas alterou o equilíbrio entre grupos microbianos e rotas fermentativas. Assim, fica evidente que a inclusão de palma modifica não apenas a composição química da silagem, mas também o ambiente de fermentação e a resposta microbiológica, influenciando diretamente a manutenção da estabilidade e a preservação dos nutrientes no período pós-abertura.

A palma forrageira apresenta elevada capacidade de retenção de água na forma de mucilagem, o que contribui para reduzir a água livre na silagem. No entanto, essa ação pode ser limitada principalmente quando associada a volumosos com baixo teor de matéria seca no momento da ensilagem. Ademais, o processo de ensilagem, por si só, pode ser um agravante, pois a pressão sobre os cladódios tende a liberar a água presa na mucilagem, o que fica evidente com o aumento linear das perdas por efluente no experimento deste estudo. Assim, mesmo com a presença da mucilagem, o excesso de umidade favoreceu perdas, principalmente no nível de 45% de inclusão, reforçando que a eficiência da palma na retenção de água depende do equilíbrio entre seus componentes estruturais, da proporção adequada e do teor de matéria seca total da silagem.

Embora tenha havido uma maior perda por efluente conforme o aumento dos níveis de palma, a ausência de efeito significativo sobre as perdas por gases indica que o padrão fermentativo da silagem não foi alterado de forma a intensificar perdas fermentativas gasosas. Chen *et al.* (2021) apontam que perdas na forma de gases decorrem da produção de CO₂, causando perdas de matéria seca e interferindo na qualidade nutricional. Nesse sentido, os resultados sugerem que as perdas observadas estiveram predominantemente associadas a mecanismos físicos, como a compactação no momento da ensilagem e o efluente, e não à degradação microbiana de carboidratos ou proteínas. Dessa forma, a diminuição da recuperação de matéria seca refletiu principalmente a interação entre a capacidade da mucilagem da palma em reter água e o aumento progressivo da umidade da massa ensilada, sendo limitada quando o excesso de água favoreceu perdas por efluente, sem que houvesse aumento das perdas por gases.

A análise de componentes principais indicou que a inclusão de palma forrageira promoveu alterações nas variáveis avaliadas, sendo que os dois primeiros componentes concentraram a maior parte da variabilidade total. A organização dos tratamentos no espaço multivariado mostrou que as respostas não ocorreram de forma linear com o aumento dos níveis de inclusão, mas variaram conforme o nível adotado.

Os tratamentos com 0% e 15% de inclusão apresentaram comportamento bastante semelhante, tanto na PCA quanto na análise de agrupamento, indicando que a baixa inclusão de palma não foi suficiente para alterar de forma expressiva o padrão geral das variáveis. O tratamento com 30% manteve-se próximo a esse grupo e próximo à média geral, sugerindo que, até esse nível, as mudanças promovidas pela inclusão de palma ocorreram de forma moderada. O tratamento com 60% de inclusão apresentou maior afastamento em relação aos níveis mais baixos, indicando alterações mais evidentes no conjunto das variáveis. No entanto, a análise de agrupamento mostrou que esse nível ainda se manteve mais próximo do grupo formado por 0%, 15% e 30% do que do tratamento com 45%, evidenciando que, apesar das mudanças observadas, o nível de 60% não representou a maior dissimilaridade do conjunto. O tratamento com 45% de inclusão apresentou a maior distância no dendrograma, indicando maior diferenciação em relação aos demais níveis quando as variáveis foram avaliadas de forma conjunta. Esse comportamento indica que a inclusão de palma nesse nível resultou em alterações mais acentuadas nas características fermentativas e bromatológicas, refletidas na maior distância multivariada, como

evidenciado nas diferenças significativas entre os tratamentos, como o aumento de bolores e leveduras nesse nível, bem como aumento da atividade de água, aumento do efluente e recuperação de matéria seca significativamente menor em comparação aos outros tratamentos.

A leitura conjunta da PCA e do agrupamento hierárquico mostra que a resposta à inclusão de palma não foi crescente ao longo dos níveis. Os tratamentos com menores inclusões mantiveram maior proximidade entre si. O nível de 45% representou a principal ruptura do padrão multivariado, sendo o tratamento mais distante e com maior inclinação a parâmetros negativos da qualidade da silagem. Por fim, o nível de 60% apresentou dissimilaridade intermediária, resultado inesperado, mas compatível com as respostas das análises univariadas, tendo uma melhor qualidade nutricional do que o nível de 45%, possivelmente devido à maior atuação da mucilagem, ainda que a matéria seca tenha diminuído significativamente. A análise multivariada permitiu identificar esse ponto de mudança, que não seria claramente observado pela comparação isolada dos níveis extremos.

Conclusão

A associação entre sorgo biomassa BRS 716 e palma forrageira resultou em silagens com alterações na composição química e no perfil fermentativo. Entre os níveis avaliados, a inclusão de 30% de palma forrageira proporcionou melhor equilíbrio entre valor nutricional e características fermentativas, com redução das frações fibrosas, maior digestibilidade da matéria seca e comportamento fermentativo adequado. Assim, a inclusão de 30% de palma forrageira na matéria natural é indicada para a produção de silagem mista com sorgo biomassa BRS 716 em condições de semiárido.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pelo auxílio financeiro ao projeto; à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES); à Universidade Estadual de Montes Claros (Unimontes); à Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG); e ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (INCT de Ciência Animal; Processo 425168/2025-5).

Referências

Alencar, A. M. S.; Rocha Júnior, V. R.; Monção, F. P.; Cordeiro, M. W. S.; Santos, A. S.; Caldeira, L. A.; Oliveira, L. I. S.; Ananias, J. V. A.; Costa, M. D.; Souza, A. S.; Aspiazú, I.; Santos, L. C. S. Quality of mixed silages of sorghum, BRS Capiaçú grass, and cactus pear in a semiarid region of Brazil. **Journal of Applied Animal Research**, v. 51, p. 719-728, 2023. <https://doi.org/10.1080/09712119.2023.2277256>.

Alves, K. de A.; Lima, J. A. M.; Costa, M. R. G. F.; Silva, T. C.; Brito, C. de L.; Gomes, M. L. R.; Pereira Filho, J. M.; Oliveira, J. P. F.; Nascimento, R. R.; Bezerra, L. R. Effect of replacing corn with cactus pear on the performance and carcass traits and meat quality of feedlot finished lambs. **Ciência Animal Brasileira**, v. 24, 2023. <https://doi.org/10.1590/1809-6891v24e-75322E>.

Araújo, C. A.; Oliveira, G. F.; Pinto, M. S.; Cunha, D. S.; Lima, R. S.; Costa, C. D. J. P.; Gois, G. C. *et al.* Fermentation profile, chemical composition, and aerobic stability of cassava shoots silages with cactus pear. **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science**, v. 60, 2023. <https://doi.org/10.11606/issn.1678-4456.bjvras.2023.212257>.

Ávila, C. L. S.; Carvalho, B. F. Silage fermentation—updates focusing on the performance of micro-organisms. **Journal of applied microbiology**, v. 128, p. 966-984, 2020. <https://doi.org/10.1111/jam.14450>.

Casali, A. O.; Detmann, E.; Valadares Filho, S. D. C.; Pereira, J. C.; Cunha, M. D.; Detmann, K. D. S. C.; Paulino, M. F. Estimação de teores de componentes fibrosos em alimentos para ruminantes em sacos de diferentes tecidos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, p. 130-138. 2009. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982009000100017>.

CEMADEN – Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais. **Estudo do CEMADEN e do INPE identifica pela primeira vez a ocorrência de uma região árida no país**. 2023. <https://www.gov.br/cemaden/pt-br/assuntos/noticias-cemaden/estudo-do-cemaden-e-do-inpe-identifica-pela-primeira-vez-a-ocorrencia-de-uma-regiao-arida-no-pais>.

Chen, D.; Zheng, M.; Guo, X.; Chen, X.; Zhang, Q. Alteração da comunidade bacteriana: Uma possível forma de inoculantes de bactérias do ácido lático reduzirem a produção de CO₂ e a perda de nutrientes durante a fermentação. **Bioresource Technology**, v. 329, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.124915>.

Cordeiro, M. W. S.; Rocha Júnior, V. R.; Monção, F. P.; Palma, M. N. N.; Rigueira, J. P. S.; Cunha Siqueira Carvalho, C.; Costa, M. D.; D'Angelo, M. F. S. V.; Costa, N. M.; Oliveira, L. I. S. de. Silagens de gramíneas tropicais com palma em dietas de novilhas Holandesas × Zebuínas no semiárido brasileiro. **Tropical Animal Health and Production**, 2023. <https://doi.org/10.1007/s11250-023-03506-6>.

Cunha, D. S.; Rodrigues, J. M. C. S.; Costa, C. J. P.; Lima, R. L.; Araújo, C. A.; Oliveira, G. F.; Gois, G. C. Mineral profile, carbohydrates fractionation, nitrogen compounds and in vitro gas production of elephant grass silages associated with cactus pear. **Bulletin of the National Research Centre**, v. 46, 2022. <https://doi.org/10.1186/s42269-022-00948-0>.

Detmann, E. *et al.* **Methods for Food Analysis — INCT — Ciência Animal**. Produção Independente, 2021.

Dubeux Júnior, J. C. B.; Santos, M. V. F.; Cunha, M. V.; Santos, D. C.; Souza, R. T. A.; Mello, A. C. L.; Souza, T. C. Cactus (Opuntia and Nopalea) nutritive value: A review. **Animal Feed Science and Technology**, v. 275, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2021.114890>.

EMBRAPA. **Sorgo biomassa é ótima opção para geração de energia**. Portal Embrapa, 2014. <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/2246665/sorgo-biomassa-e-otima-opcao-para-geracao-de-energia>.

González, G.; Rodríguez, A. A. Effect of storage method on fermentation characteristics, aerobic stability, and forage intake of tropical grasses ensiled in round bales. **Journal of Dairy Science**, v. 86, p. 926–933, 2003. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73675-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73675-3).

Gomes, A. L. M.; Bueno, A. V. I.; Osmari, M. P.; Machado, J.; Nussio, L. G.; Jobim, C. C.; Daniel, J. L. P. Effects of obligate heterofermentative lactic acid bacteria alone or in combination on the conservation of sugarcane silage. **Frontiers in Microbiology**, 2021. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.643879>.

Guo, X.; Xu, D.; Li, F.; Bai, J.; Su, R. Current approaches on the roles of lactic acid bacteria in crop silage. **Microbial Biotechnology**, p. 67-87, 2023. <https://doi.org/10.1111/1751-7915.14184>.

Hammer, Ø.; Harper, D. A. T.; Ryan, P. D. PAST: paleontological statistics software package for education and data analysis. **Palaeontologia Electronica**, v. 4, p. 1–9, 2001. https://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm.

Hora, F. F.; Rocha Júnior, V. R.; Monção, F. P. *et al.* Parâmetros nutricionais e desempenho de novilhas mestiças alimentadas com silagens de milho e sorgo da biomassa BRS 716. **Revista de Pesquisa Animal Aplicada**, v. 51, n. 1, p. 74-83, 2023. <https://doi.org/10.1080/09712119.2022.2155172>.

IBGE. **Censo demográfico 2022**: características da população e dos domicílios - resultados do universo. 2022. <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/39525-censo-2022-informacoes-de-populacao-e-domicilios-por-setores-censitarios-auxiliam-gestao-publica>.

Instituto Adolfo Lutz. Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz: métodos químicos e físicos para análise de alimentos. 3. ed. São Paulo: **IMESP**, 1985.

International Dairy Federation. Milk and milk products: enumeration of lactic acid bacteria – colony count technique at 30 °C. **IDF Standard**, n. 117B, 1988. <https://fil-idf.org/publications/standards/milk-and-milk-products-enumeration-of-lactic-acid-bacteria>.

Jobim, C. C.; Nussio, L. G.; Reis, R. A.; Schmidt, P. Avanços metodológicos na avaliação da qualidade da forragem conservada. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, p. 101-119, 2007. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982007001000013>.

McDonald, P.; Edwards, R. A.; Greenhalgh, J. F. D.; Morgan, C. A.; Sinclair, L. A. **Animal nutrition**. Harlow, Essex: Longman Scientific & Technical, 1995.

Monção, F. P.; Rocha Júnior, V. R.; Leal, D. B.; Rigueira, J. P. S.; Caldeira, L. A.; Silva, R. K. O. D. J.; D'Angelo, M. F. S. V. Impact of mixed forage silage with BRS Capiapu grass, ground corn, and varying forage palm levels on aerobic stability, fermentation profile, chemical composition, and digestibility. **R. Bras. Zootec.**, v. 53, 2024. <https://doi.org/10.37496/rbz5320240122>.

Nocek, J. E. In situ and other methods to estimate ruminal protein and energy digestibility: a review. **Journal of dairy Science**, v. 71, p. 2051-2069, 1988. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(88\)79781-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(88)79781-7).

Paulino, R. D. S.; Oliveira, J. S.; Santos, E. M.; Pereira, G. A.; Ramos, J. P. D. F.; César Neto, J. M.; Oliveira, C. J. B. Spineless cactus use management on microbiological quality, performance, and nutritional disorders in sheep. **Tropical Animal Health and Production**, v. 53, p. 168, 2021. <https://doi.org/10.1007/s11250-021-02594-6>.

Pereira, D. M.; Oliveira, J. S.; Ramos, J. P. D. F.; Cavalcante, I. T. R.; Santos, F. N. D. S.; Silva, E. D. S.; Santos, E. M. Total mixed ration silage based on cactus pear and cottonseed cake: fermentative quality, digestibility and lamb performance. **Small Ruminant Research**, v. 232, 2025. <https://doi.org/10.1007/s11250-025-04297-8>.

Resende, F. D.; Penteadó, D. C. S.; Siqueira, G. R.; et al. Fermentation profile and microbiological composition of corn silage inoculated with lactic acid bacteria. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, p. 1027–1033, 2011. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982011000500017>.

Roth, G. *et al.* **Produção, gestão e alimentação de silagem de milho**. Madison, WI, EUA: Sociedade Americana de Agronomia, 1995. <https://doi.org/10.2134/cornsilage>.

Santos, A. P. M.; Santos, E. M.; Oliveira, J. S.; Araújo, G. G. L.; Zanine, A. M.; Pinho, R. M. A.; Nascimento, T. V. C.; Perazzo, A. F.; Ferreira, D. J.; Macedo, A. J. S.; Santos, F. N. S. PCR identification of lactic acid bacteria populations in corn silage inoculated with lyophilised or activated *Lactobacillus buchneri*. **Journal of the Faculty of Agrarian Sciences**, p. 115-125, 2023. <https://revistas.uncu.edu.ar/ojs3/index.php/RFCa/article/view/5309>.

Silva, E. B.; Costa, D. M.; Santos, E. M.; Moyer, K.; Hellings, E. e Kung, L. Os efeitos de *Lactobacillus hilgardii* 4785 e *Lactobacillus buchneri* 40788 sobre o microbioma, fermentação e estabilidade aeróbica da silagem de milho ensilada por vários períodos. **Journal of Dairy Science**, v. 104, n.10, p. 10678-10698. 2021. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-20111>.

Silva, C. D. S.; Araújo, G. G. L. D.; Santos, E. M.; Oliveira, J. S. D.; Silva, T. G. F. D.; Araújo, C. D. A.; Gois, G. C. Características Fermentativas, Aspectos Nutricionais, Estabilidade Aeróbica e Populações Microbianas de Silagens Totais, Misturadas Baseadas em Silagem de Sorgo e Pera de Cacto realocados para dietas de ovelhas. **Agronomy**, v. 15, p. 506, 2025. <https://doi.org/10.3390/agronomy15020506>.

Silva, D. J.; Queiroz, A. C. **Análise de alimentos. Métodos químicos e biológicos**, 3.ed. – Viçosa: UFV, 2002.

Silva, M. P.; Carvalho, F. F. R.; Batista, Â. M. V.; Araujo, C. M.; Soares, P. C.; Souza, A. P.; Fernandes, B. D. O.; Gonzaga Neto, S.; Costa, R. G.; Medeiros, A. N. Nutritional and mineral composition of *Opuntia stricta* Haw: Balance of macrominerals, renal function and blood

metabolites in sheep. **Arquivo Brasileiro De Medicina Veterinária E Zootecnia**, p. 333-346., 2023. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-12802>.

Soares, M. J. A. de A. **Avaliação de silagem mistas de sorgo e palma forrageira**. 2021. <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/20602>.

Soundharrajan, I.; Min, C.-W.; Jung, J. S.; Choi, K. C. Effects of the novel inoculant K-68 of *Lacticaseibacillus paracasei* on nutrient content, fermentation, and microbial dynamics changes in Dacheongok corn silage. **Fermentation**, p. 304, 2025. <https://doi.org/10.3390/fermentation11060304>.

Vaishampayan, P.; Miyashita, M.; Ohnishi, A.; Satomi, M.; Rooney, A.; La Duc, M. T.; Venkateswaran, K. Description of *Rummeliibacillus stabekisii* gen. nov., sp. nov. and reclassification of *Bacillus pycnus* Nakamura *et al.* 2002 as *Rummeliibacillus pycnus* comb. nov. **International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology**, v. 59, n. 5, p. 1094-1099, 2009. <https://doi.org/10.1099/ijs.0.006098-0>.

Van Pamel, E.; Verbeken, A.; Vlaemyck, G.; De Boever, J.; Daeseleire, E. Ultrahigh-performance liquid chromatographic-tandem mass spectrometric multimycotoxin method for quantitating 26 mycotoxins in maize silage. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, n. 59, v.18, p. 9747-9755, 2011. <https://doi.org/10.1021/jf202614h>. Acesso em: 2 abr. 2026.

Wróbel, B.; Nowak, J.; Fabiszewska, A.; Paszkiewicz-Jasińska, A.; Przystupa, W. Dry matter losses in silages resulting from epiphytic microbiota activity – a comprehensive study. **Agronomy**, v. 13, p. 450, 2023. <https://doi.org/10.3390/agronomy13020450>.

Yi, Q.; Yu, M.; Wang, P.; Du, J.; Zhao, T.; Jin, Y.; Tang, H.; Yuan, B. Effects of moisture content and silage fermentation on fermentation quality and in vitro digestibility of waxy corn processing by-product. **Fermentation**, v. 9, p. 1025, 2023. <https://doi.org/10.3390/fermentation9121025>.

Zanine, A. M.; Santos, E. M.; Dorea, J. R. R.; Dantas, P. A. S.; Silva, T. C.; Pereira, O. G. Evaluation of elephant grass with addition of cassavascrapings. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, p. 2611-2616, 2010. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-78217-1>.

Considerações finais

A inclusão de palma forrageira na ensilagem do sorgo biomassa BRS 716 promoveu alterações na composição química, no perfil fermentativo e na microbiologia das silagens. À medida que os níveis de palma aumentaram, houve redução da matéria seca e das frações fibrosas, acompanhada de aumento dos carboidratos não fibrosos, carboidratos solúveis, nutrientes digestíveis totais e digestibilidade *in vitro* da matéria seca, indicando maior disponibilidade de substratos fermentáveis e melhoria do aproveitamento nutricional da silagem.

Ao longo dos níveis de inclusão, também foram observadas alterações no ambiente fermentativo, com aumento do pH, da atividade de água e das perdas por efluente. Apesar dessas mudanças, as silagens mantiveram baixos teores de ácido butírico e estabilidade nas perdas por gases, indicando manutenção de condições adequadas de fermentação. As respostas microbiológicas acompanharam essas modificações, refletindo alterações na população de bactérias ácido-láticas conforme a composição da massa ensilada.

Outro aspecto importante foi a diferenciação entre os tratamentos observada na análise multivariada. Os níveis de 0, 15 e 30% apresentaram maior similaridade entre si, enquanto o tratamento com 45% mostrou maior distanciamento em relação aos demais, associado a menor recuperação de matéria seca e maior atividade de água.

Do ponto de vista prático, a inclusão de palma forrageira na silagem com sorgo biomassa aumenta as possibilidades de aproveitamento dessa cactácea em sistemas de produção do semiárido, permitindo associação entre valor nutritivo e conservação do volumoso. Entre os níveis estudados, a inclusão de 30% apresentou melhor equilíbrio entre composição química, digestibilidade e características fermentativas, favorecendo a produção de silagem mista com maior estabilidade e qualidade nutricional.