



Programa de Pós-Graduação em Zootecnia

**Silagens de sorgo biomassa BRS 716 e
capim-BRS capiaçu associadas com palma
forrageira no semiárido mineiro**

AMANDA MARIA SILVA ALENCAR

2022

AMANDA MARIA SILVA ALENCAR

Silagens de sorgo biomassa BRS 716 e capim-BRS capiaçu associadas com palma forrageira no semiárido mineiro

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
2022

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

Alencar, Amanda Maria Silva

A368s

Silagens de sorgo biomassa BRS 716 e capim BRS capiaçu associadas com palma forrageira no semiárido mineiro [manuscrito] / Amanda Maria Silva Alencar. – 2022. 72 p.

Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Universidade Estadual de Montes Claros – Janaúba, 2022.

Orientador: Prof. D. Sc. Vicente Ribeiro Rocha Júnior.

1. Biomassa. 2. Silagem. 3. Palma forrageira. I. Rocha Júnior, Vicente Ribeiro. II. Universidade Estadual de Montes Claros. III. Título.

CDD. 636.62

Catálogo: Joyce Aparecida Rodrigues de Castro Bibliotecária CRB6/2445



GOVERNO DO ESTADO DE MINAS GERAIS

Universidade Estadual de Montes Claros

Mestrado em Zootecnia

Declaração - UNIMONTES/PRPG/PPGZ - 2022

Montes Claros, 23 de fevereiro de 2022.

AMANDA MARIA SILVA ALENCAR

**SILAGENS DE SORGO BIOMASSA BRS 716 E CAPIM-BRS CAPIAÇU ASSOCIADAS
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 em Zootecnia.

APROVADA em 23 de fevereiro de 2022.

Dr. Vicente Ribeiro Rocha Júnior/ Presidente/ UNIMONTES

Dr. Flávio Pinto Monção/ Membro Interno/ UNIMONTES

Dr. João Paulo Sampaio Rigueira/ Membro Interno/ UNIMONTES

Dr. Malber Nathan Nobre Palma/Membro Externo/UFV

JANAÚBA, MINAS GERAIS – BRASIL/2021



Documento assinado eletronicamente por **Vicente Ribeiro Rocha Junior, Professor(a)**, em 23/02/2022, às 11:31, 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 **MALBER NATHAN NOBRE**



PALMA, Usuário Externo, em 23/02/2022, 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 **Flávio Pinto Monção, Usuário Externo**, em 23/02/2022, às 13:00, 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 **João Paulo Sampaio Rigueira, Professor(a)**, em 23/02/2022, às 14:32, 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 **42695552** e o código CRC **D83E6E0D**.

Referência: Processo nº 2310.01.0004234/2021-16 SEI nº 42695552

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a Deus, que me concedeu o dom da vida. Obrigada por ter permitido que esse ciclo acontecesse;

Aos meus pais, Carla Fabiane Silva Santos Alencar e Manoel Soares Alencar Filho, por serem meu porto seguro, por todo amor e cuidado. Por estarem ao meu lado nos momentos de dificuldades, me fortalecendo e me apoiando nas minhas decisões;

Aos meus amigos Cássia, Joyce Oliveira, Fernanda, Maicon e Lucas, por estarem ao meu lado nesse ciclo.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Vicente Ribeiro Rocha Júnior, pelos ensinamentos, profissionalismo, qualidade no ensino, paciência e dedicação. Muito obrigada pela oportunidade de ser sua orientada!

Ao meu amigo e coorientador, Prof. Dr. Flávio Pinto Monção, pelo auxílio, companheirismo, conselhos, dedicação, que contribuíram com este trabalho. Muito obrigada!

À Universidade Estadual de Montes Claros e ao Programa de Pós-graduação, pela formação e ensino. E a todos os professores que contribuíram com minha formação.

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG, pela concessão da bolsa e apoio financeiro para a execução desta pesquisa.

Ao ICNT-Ciências Animal/CNPq.

Agradeço a todos que fizeram parte dessa fase da minha vida.

Muito obrigada!

Sumário

NORMAS DA REVISTA CIENTÍFICA	8
RESUMO GERAL.....	9
GENERAL ABSTRACT	10
1. INTRODUÇÃO.....	11
2. REVISÃO DE LITERATURA	12
2.1 Silagem de sorgo biomassa BRS 716	12
2.2 Silagem de capim-BRS capiaçu	13
2.3 Palma forrageira	15
2.4 Parâmetros de avaliação da qualidade de silagens.....	17
REFERÊNCIAS.....	21
Capítulo 1: 4. Qualidade de silagens mistas de sorgo, capim-BRS capiaçu e palma forrageira em região semiárida do Brasil.....	27
4.1 Introdução	30
4.2 Material e Métodos	31
4.2.1 <i>Declaração de ética</i>	31
4.2.2 <i>Local do experimento</i>	31
4.2.3 <i>Tratamentos e delineamento experimental</i>	31
4.2.4 <i>Culturas e obtenção dos tratamentos</i>	32
4.2.5 <i>Processo de ensilagem</i>	33
4.2.6 <i>Estabilidade aeróbia</i>	33
4.2.7 <i>Perdas fermentativas</i>	34
4.2.8 <i>Avaliação do pH, nitrogênio amoniacal e ácidos orgânicos</i>	34
4.2.9 <i>Composição químico-bromatológica e cinética ruminal</i>	35
4.2.10 <i>Análises estatísticas</i>	36
4.3 Resultados	37
4.3.1 <i>Estabilidade aeróbia</i>	37
4.3.2 <i>Perdas de matéria seca e perfil fermentativo</i>	38
4.3.3 <i>Composição química</i>	38
4.4 Discussão.....	40
4.5 Conclusão	43
4.8. Referências	43
4.9 TABELAS E FIGURAS	48
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	57

NORMAS DA REVISTA CIENTÍFICA

Esta dissertação segue as premissas básicas da Revista Brasileira de Zootecnia, link:
<https://www.rbz.org.br/instructions-authors/>

RESUMO GERAL

ALENCAR, Amanda Maria Silva. **Silagens de sorgo biomassa BRS 716 e capim-BRS capiaçu associadas com palma forrageira no semiárido mineiro**. 2022. 69 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba, Minas Gerais, Brasil¹.

A conservação de forrageiras surge como estratégia de alimentação nos sistemas de produção de ruminantes quando há um déficit de alimentação. A técnica de ensilagem possibilita o uso de diversas forrageiras, desde que o teor de matéria seca, carboidratos solúveis em água, poder tampão e capacidade fermentativa sejam adequados. Objetivou-se avaliar silagens mistas de sorgo forrageiro e biomassa BRS 716 e silagem de capim-BRS capiaçu associadas ou não com palma forrageira sobre o perfil fermentativo e valor nutricional. Foram avaliadas as silagens à base de sorgo forrageiro cv. Volumax; sorgo biomassa cv. BRS 716; capim-BRS capiaçu; 60 % de sorgo biomassa BRS 716 + 40 % de palma forrageira *Opuntia ficus indica* Mill (gigante), na base da matéria natural; e 60 % de capim-BRS capiaçu + 40 % de palma forrageira *Opuntia ficus indica* Mill (gigante), na base da matéria natural. O experimento foi conduzido seguindo o delineamento experimental inteiramente casualizado, com cinco tratamentos e oito repetições. As silagens de Sorgo forrageiro cv. Volumax e sorgo biomassa cv. BRS 716 apresentaram maiores ($p < 0,01$) temperaturas. As maiores perdas por gases ($P < 0,01$) e menores recuperações da MS ($P < 0,01$) foram verificadas nas silagens de capim-BRS capiaçu e capim-BRS capiaçu com palma forrageira. As silagens de sorgo Volumax e biomassa BRS 716 apresentaram maiores teores de matéria seca ($P < 0,01$; média de 33,44 %) em relação às demais silagens. A silagem de sorgo Volumax e sorgo biomassa BRS 716 com palma forrageira revelou valores de fração solúvel em água (fração a) da MS 23,59 % superior ($P < 0,01$) em relação aos demais tratamentos (média de 19,14 %). A silagem mista de sorgo biomassa com palma forrageira apresentou menores perdas fermentativas e maior recuperação de matéria seca.

Palavras-chave: composição química, conservação, digestibilidade, forragem

¹ Comitê de Orientação: Prof. Vicente Ribeiro Rocha Júnior - Departamento de Ciências Agrárias/ UNIMONTES (Orientador); Prof. Flávio Pinto Monção - Departamento de Ciências Agrárias/UNIMONTES (Coorientador).

GENERAL ABSTRACT

ALENCAR, Amanda Maria Silva. **Silages of BRS 716 biomass sorghum and BRS capiaçu grass associated with forage cactus in the semiarid region of Minas Gerais.** 2022. 69 p. Dissertation (Master's degree in Animal Science) – Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba, Minas Gerais, Brasil¹

Forage conservation emerges as a feeding strategy in ruminant production systems when there is a feeding deficit. The silage technique allows the use of different forages, as long as the dry matter content, water-soluble carbohydrates, buffering power and fermentative capacity are adequate. The objective was to evaluate mixed silages of forage sorghum and BRS 716 biomass and BRS capiaçu grass silage associated or not with forage cactus on the fermentative profile and nutritional value. Forage sorghum cv. Volumemax; sorghum biomass cv. BRS 716; BRS capiaçu grass; 60% BRS 716 biomass sorghum + 40 % forage cactus *Opuntia ficus indica* Mill (giant), on the basis of natural matter; and 60 % BRS capiaçu grass + 40 % forage cactus *Opuntia ficus indica* Mill (giant), on the basis of natural material. The experiment was carried out following a completely randomized design, with five treatments and eight replications. The silages of forage sorghum cv. Volumax and biomass sorghum cv. BRS 716 showed higher ($p < 0.01$) temperature. The highest gas losses ($P < 0.01$) and lowest recoveries of DM ($P < 0.01$) were observed in silages of BRS capiaçu and BRS capiaçu grass with forage cactus. The silages of Volumax sorghum and BRS 716 biomass presented higher dry matter contents ($P < 0.01$; mean of 33.44 %) in relation to the other silages. Silage of Volumax sorghum and BRS 716 biomass sorghum with forage cactus showed higher values of water-soluble fraction (fraction a) of 23.59 % of DM ($P < 0.01$) in relation to the other treatments (average of 19.14 %). The mixed silage of sorghum biomass with forage cactus showed lower fermentation losses and higher dry matter recovery.

Keywords: chemical composition, conservation, digestibility, forage,

1. INTRODUÇÃO GERAL

A região semiárida brasileira corresponde a uma área de 1,03 milhões de km², contemplando 1.189 municípios de nove estados do país (Bahia, Ceará, Alagoas, Minas Gerais, Pernambuco, Paraíba, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe). A região tem como característica altas temperaturas, baixa umidade relativa do ar, índices pluviométricos irregulares e baixos (≤ 800 mm ano⁻¹), com chuvas concentradas no verão (Correia, et al. 2011).

A produção de forragem não é constante ao longo do ano devido às variações edafoclimáticas ocorridas nas diferentes estações climáticas (Barbero et al., 2015; Sampaio et al., 2017), favorecendo a perda de peso e baixa produção de leite e menor taxa de crescimento decorrente do deficit alimentar.

Nesse contexto, a conservação de forrageiras surge como estratégia de alimentação nos sistemas de produção de ruminantes (Fluck et al., 2018). A técnica de ensilagem possibilita o uso de diversas forrageiras, desde que teor de matéria seca, carboidratos solúveis em água, poder tampão e capacidade fermentativa sejam adequados (Muck et al., 2018). Durante a fermentação, os microrganismos agem de forma interativa e isolada sobre a massa ensilada e os resultados desse processo são diversos. Nesse sentido, faz-se necessária a elucidação das etapas que antecedem a ensilagem e os processos microbiológicos que ocorrem durante a fermentação sobre a silagem produzida.

Com o intuito de reduzir os custos com alimentação de animais confinados, a espécie forrageira deve ser adaptada às condições climáticas da região semiárida e apresentar elevados níveis de produtividade por área, aliado com fatores nutricionais que favoreçam a ensilagem (Perrazzo et al., 2019).

O sorgo é cultivado para produção de silagem por ser tolerante ao deficit hídrico, apresentar elevada produtividade por área, bom valor nutricional e resistência a pragas. Visando o desenvolvimento de genótipos altamente produtivos, a EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) Milho e Sorgo lançou em 2014 o sorgo biomassa cv. BRS 716 com a finalidade de cogeração de energia em caldeiras a partir da queima direta da biomassa. Este sorgo, além de ser de alta produtividade, alcançando 36,61 toneladas de matéria seca em um único corte em região semiárida de Minas Gerais, tem potencial forrageiro para produção de silagem (Souza et al., 2021).

O capim-BRS capiaçu destaca-se pela boa produtividade (49,8 toneladas de matéria seca (MS)/ha/ano) e capacidade de adaptação (Pereira et al., 2017), sendo, portanto,

importante alternativa para produção de silagem em região semiárida.

Entretanto, o sorgo biomassa e o capim-elefante são forrageiras que apresentam, relativamente, baixas concentrações de carboidratos solúveis. Esta característica promove lenta redução do valor do pH, proporcionando condições para o desenvolvimento de microrganismos indesejáveis durante o processo de ensilagem (Borreani et al., 2018). Neste contexto, a palma forrageira contribui na elevação dos carboidratos solúveis (Marques et al., 2017), além de ser bem adaptada às condições edafoclimáticas da região semiárida, com elevada produtividade e capacidade de rebrota, o que justifica o seu uso nos sistemas de produção animal (Nobel, 2001; Cavalcante et al., 2014). Todavia, a ensilagem da palma forrageira é pouco usual devido à baixa concentração de matéria seca (10 a 13%), sendo necessário sua associação a outras fontes de forragem.

Como isso, visando a produção de silagens a partir de forrageiras adaptadas e de elevada produtividade no semiárido, objetivou-se avaliar as silagens de sorgo forrageiro, sorgo biomassa BRS 716 e capim-BRS capiaçu associados ou não com palma forrageira sobre o perfil fermentativo e valor nutricional das silagens.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Silagem de sorgo biomassa BRS 716

A cultura de sorgo pertence à família Poaceae, gênero *Sorghum* e a espécie *Sorghum bicolor* (L.) Moench. Tem origem na África Oriental (Etiópia e/ou Sudão). A partir da década de 70, começou a se ampliar no Brasil, nos estados da Bahia, Paraná, São Paulo e Rio Grande do Sul (Rosa, 2012). As diferentes cultivares têm sido utilizadas para produção de forragem e grãos para alimentação animal, como fonte de energia renovável através da queima da biomassa, para produção de etanol lignocelulósico e geração de energia térmica, elétrica e mecânica (Parrella et al., 2010).

O florescimento acontece principalmente quando os dias possuem menos de 12 horas e 20 minutos, período entre 21 de março e 22 de setembro, na maior parte do Brasil, podendo, assim, favorecer a produção de massa verde. Indica-se a semeadura nos meses de outubro a dezembro, quando o fotoperíodo é maior; a gema floral iniciará o desenvolvimento a partir de 21 de março do ano seguinte, o que amplia a produção de massa verde por área ou ciclo

(May et al., 2013).

O sorgo biomassa se destaca pela alta produtividade, acima de 50 t/ha de matéria seca por ciclo de 6 meses. É uma cultura altamente sensível ao fotoperíodo, e com isso, o aumento do ciclo vegetativo possibilita o aumento da produção de biomassa por hectare/ciclo. Além de permitir a utilização da mecanização do plantio à colheita propagação por sementes, tem tolerância ao deficit hídrico.(Parella, 2011; EMBRAPA, 2014; Oliveira et al., 2020).

A partir da avaliação dos tipos de sorgo biomassa, características genótípicas e fenotípicas, selecionaram-se os de melhor produtividade e características agronômicas (Lanza, 2017). O sorgo biomassa cv. BRS 716 foi lançado pela EMBRAPA Milho e Sorgo em 2014, com finalidade de cogeração de energia por queima de biomassa nas indústrias termelétricas e produção de etanol. Esta cultivar apresenta potencial para ensilagem devido, principalmente, à alta produtividade, média de 36,61 toneladas de matéria seca por hectare/corte na região do semiárido mineiro (Souza et al., 2021).

Queiroz et al. (2021) avaliaram diferentes idades de corte e espaçamentos de plantio do BRS 716 para ensilagem e observaram que a melhor idade foi a de 160 dias com espaçamento de 70 cm. Nessas condições apresentou teor de matéria seca 26,91; proteína bruta, 5,33; fibra em detergente neutro, 21,22; nutrientes digestíveis totais, 49,05. Com isso, a cultura mostrou potencial na produção de silagem, por apresentar boa recuperação de matéria seca (média de 97,20% da matéria seca). De acordo com Ramos et al. (2021), o sorgo BRS 716 pode ser usado na alimentação animal sem alterar a produção de leite de vacas mestiças.

2.2 Silagem de capim-BRS capiaçu

O capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) é originário do continente africano e sua maior variabilidade genética está nas regiões de Guiné, Moçambique, Angola, Zimbábue e sul do Quênia, onde há vales férteis, com precipitação anual acima de 1.000 milímetros (Brunken, 1977). É uma gramínea de grande importância, tendo em vista suas características produtivas e flexibilidade de manejo.

As cultivares de capim-elefante caracterizam-se como gramíneas perenes, de crescimento cespitoso, colmo ereto disposto em touceira ou não, com folha de coloração verde, variando do mais escuro ao mais claro, de inflorescência com panículas sedosas de 15

cm de comprimento em média, podendo alcançar de 3 a 5 metros de altura dependendo do manejo. Apresenta desenvolvimento de perfilhos aéreos e basilares, com formação de densas touceiras, porém, não são capazes de cobrir o solo (Jacques, 1994).

O capim-elefante tem sido utilizado há bastante tempo, principalmente em propriedades leiteiras, por se destacar pela elevada produção de matéria seca (MS) (20 a 30 t/ha/ano), bom valor nutritivo, quando colhido em idades compatíveis, e resistir a condições climáticas desfavoráveis, como seca e frio (Queiroz Filho et al., 2000).

Pesquisadores da EMBRAPA Gado de Leite desenvolveram a cultivar BRS Capiaçú, originária do cruzamento entre os acessos Guaco IZ2 (BAGCE 60) e Roxo (BAGCE 57). A cultivar caracteriza-se pela floração tardia, tamanho alto, aglomerados verticais, folhas com lâminas largas, longas e verdes; bainha de folha verde amarelada e tronco com diâmetro largo e internódios amarelados. Destaca-se também pelo alto rendimento, qualidade da forragem, alta resistência ao acamamento e excelente adaptação à colheita mecânica (Pereira et al., 2017).

A característica de alto rendimento e resistência à seca são as de maior importância quando se objetivou o desenvolvimento da cultivar. Segundo Pereira et al. (2017), o potencial de produção de biomassa da BRS Capiaçú supera o do milho e o da cana-de-açúcar, atingindo média de 50 t/ha/ano de matéria seca. Ademais, a cultivar é tolerante ao estresse hídrico, o que a torna alternativa ao cultivo do milho em regiões com alto risco de ocorrência de veranicos.

Pereira et al. (2017) avaliaram a produção de capim-elefante, cv. BRS capiaçu na região do sul de Minas Gerais, e registraram média de 49,75 t/ha/ano. Segundo Monção et al. (2019), a produção de matéria seca da cultivar BRS Capiaçú foi de 72 t/ha/ano no semiárido mineiro.

A produção de matéria seca e o valor nutricional pode alterar de acordo com a idade de corte. Monção et al. (2019) analisaram a composição nutricional da cultivar BRS capiaçu em diferentes idades (30, 60, 90 e 120 dias) de rebrota no inverno na região do semiárido. Os autores verificaram que, com o aumento da idade de corte, houve aumento de 76,25% na altura, 38,46% no teor de matéria seca, a produção de matéria seca aumentou em 96,56%, assim como os teores de fibra em detergente neutro, fibra em detergente ácido, lignina e carboidratos totais. Já os teores de proteína bruta, cinzas e de nutrientes digestíveis totais diminuíram com a idade de corte.

Queiroz Filho et al. (2000) relataram que o rendimento e a qualidade da forragem

produzida sofrem efeito direto da frequência de corte. Dessa forma, o aumento do intervalo de cortes resulta em incrementos na produção de MS, porém, paralelamente, ocorre declínio no valor nutritivo da forragem produzida.

Com o avançar da idade fisiológica da planta, a proporção de componentes da parede celular aumenta (celulose, hemicelulose e lignina), reduzindo, assim, a relação de nutrientes potencialmente digeríveis (carboidratos solúveis, proteínas, minerais e vitaminas), sendo responsável pela queda na digestibilidade (Oliveira et al., 2014). Além do aumento da concentração da fibra no colmo e na maior parte das folhas, a concentração de fibra também é maior na forragem total, devido à diminuição da relação folha/colmo que é consequência da maturação fisiológica das plantas (Buxton e Redfearn, 1997).

Pereira et al. (2017), avaliando o melhor momento para ensilagem do BRS Capiáçu recomendaram a idade de corte de 90 a 110 dias de rebrota. Eles Observaram altura média de 3,5 a 4,0 metros; perfil químico de matéria seca 18,0; proteína bruta 5,3; fibra em detergente neutro 72,2; nutrientes digestíveis totais 46,8 na colheita do capiaçu com 90 dias. Quando colhido aos 110 dias, altura média de 3,5 a 4,0 metros; perfil químico de matéria seca 20,4; proteína bruta 5,1; fibra em detergente neutro 73,8; nutrientes digestíveis totais 45,4. Monção et al. (2019) verificaram que os teores de matéria seca variaram com a idade de corte, de 13,02 % com 30 dias de rebrota a 21,16 % aos 120 dias de rebrota. Kung Jr et al. (2018) observaram que, para a obtenção de silagem de qualidade, o teor mínimo de matéria seca de gramíneas forrageiras é de 25 % a 35 %. Pereira et al. (2017) não recomendam a ensilagem com a idade avançada (acima de 120 dias de rebrota), uma vez que há diminuição da qualidade nutricional.

2.3 Palma forrageira

A palma é uma cactácea exótica, no Brasil é mais conhecida como palma forrageira, é originária do México, continente Americano (Lopes, 2012). A introdução da palma no Brasil foi ao final do século XVIII, com o objetivo de criação de inseto hospedeiro denominado cochonilha do carmim [*Dactylopius coccus Costa* (Homóptera, Dactylopiidae)], para produção de corante vermelho, sem sucesso. Começou a ser cultivada como planta ornamental e, a partir do século XX, como forrageira (Pessoa, 1967; Albuquerque, 2000; Simões e Sampaio, 2005).

A palma forrageira (*Opuntia* sp. ou *Nopalea* sp.) vem sendo empregada na alimentação

animal devido à alta capacidade adaptativa nas regiões do semiárido brasileiro. A capacidade adaptativa se dá pela morfologia, fisiologia e estrutura anatômica que favorece a maior eficiência no uso da água. Devido à capacidade adaptativa, alta aceitabilidade pelos animais, eficiência no uso da água, alta produção de biomassa e baixo custo, está sendo utilizada na nutrição animal em regiões semiáridas e áridas. O Metabolismo Ácido das Crassuláceas (CAM) favorece sua tolerância a longos períodos de estiagem (Santos et al., 2011; Macedo et al., 2017).

O metabolismo CAM tem como característica captar a energia solar durante o dia e fixar o CO₂ durante a noite. Isso reduz as perdas de água pela evapotranspiração e gera maior eficiência no uso da água, quando comparado com as forrageiras C3 e C4. Esta característica permite que em período de estiagem prolongada, de até 15 dias, a taxa de fotossíntese seja máxima. A taxa fotossintética é permitida em períodos prolongados de escassez de água devido ao armazenamento de água pelo parênquima esponjoso (Almeida, 2012; Rocha, 2012; Niechayev et al., 2019).

No Brasil, as espécies mais utilizadas são a *Opuntia ficus-indica* Mill e a *Nopalea cochenillifera* Salm-Dyck. As variedades mais cultivadas são a redonda ou orelha de onça (*Opuntia ficus-indica*), gigante (*Opuntia ficus-indica*), orelha de elefante (*Opuntia tuna* (L.) Mill), miúda ou doce (*Nopalea cochenillifera*) e a doce baiana (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck) (Galvão Júnior et al., 2014; Marques et al., 2017; Nascimento et al., 2020).

A palma contém baixo teor de matéria seca (10 %), proteína bruta (5 % da MS) e fração fibrosa (até 30 % da MS) e altos níveis de carboidrato não fibroso (65 % da MS), o que impede que seja fonte exclusiva de alimento para ruminantes, devendo ser associada com outra fonte de fibra (Leite et al., 2018). Possui níveis significativos de matéria mineral (ferro, zinco, potássio, cálcio e magnésio) (Dessimoni et al., 2014; Lima, 2010).

No contexto da ensilagem, a palma mostra característica que favorece o processo de fermentação devido aos altos teores de carboidratos solúveis. Além disso, possui a mucilagem, que é composta por complexo de polissacarídeos, capaz de reter água. Composta por arabinose, galctose, ramnose, xilose e ácidos galacturônicos, que estão presentes na celulose e pectina (Felkai-Haddache et al., 2016). Esta retenção de água pela mucilagem pode ajudar a prevenir a proliferação de microrganismos indesejáveis durante e após o processo de ensilagem. O principal papel da mucilagem na palma é regular os teores de cálcio e água durante a seca. O cálcio é importante no mecanismo de abertura estomática, mantendo os

estômatos fechados durante o dia, tornando a fotossíntese mais eficiente (Contreras-Padilla et al., 2011).

Dessa forma, a palma forrageira pode beneficiar o processo de fermentação, fornecendo substrato, como fonte de energia para as bactérias ácido-láticas (BAL) produzirem ácido lático, proporcionando queda do pH e inibição dos microrganismos indesejáveis. A mucilagem apresenta alta capacidade de retenção de água, pela ação hidrofílica. Esse composto pode ser o principal responsável pela diminuição das perdas na silagem com palma, pois promove um envelopamento dos compostos fluidos, impedindo sua perda por efluentes (Silva, 2019).

2.4 Parâmetros de avaliação da qualidade de silagens

O processo de ensilagem tem como finalidade a conservação da cultura através da fermentação em meio ácido. Os microrganismos epifíticos presentes na cultura no momento do corte utilizam os carboidratos solúveis para fermentação e produção de ácidos para redução do pH. O principal ácido envolvido na conservação da silagem é o ácido lático produzido pelas bactérias homofermentativas, podendo determinar a qualidade final da silagem (McDonald et al. 1991).

A produção da silagem é influenciada por diferentes fatores que determinam a qualidade final da mesma, como a escolha da cultivar, estágio de maturação da cultura ou teor de umidade, tipo de solo, condições climáticas, tipo de colheita e o uso de aditivos (Bernardes, 2018; Silva et al., 1999).

Para produção de silagem de boa qualidade, é necessário que a cultura possua adequados teores de matéria seca (MS), entre 25 e 38 %, baixo poder tampão, e 6 a 8 % de carboidratos solúveis na MS (Nussio et al., 2001; Yang et al., 2006).

A fermentação ocorre em meio anaeróbico dentro do silo, pelos microrganismos epifíticos que iniciam a fermentação. Os produtos da fermentação são os ácidos orgânicos, sendo os principais, ácido lático, acético, butírico e propiônico, podendo resultar ainda compostos indesejáveis na silagem se não houver um ambiente favorável para a fermentação, além de causar perdas nutricionais (Avila e Carvalho, 2019).

O ácido lático é o principal responsável pela queda do pH, sendo produzido a partir da fermentação por bactérias heterofermentativas e pelas BAL homofermentativas. Essas últimas se tornam predominantes rapidamente, permanecem ativas até que o pH chegue

próximo a 4,0. O ácido láctico é um ácido forte, com pKa de 3,86, reduzindo, assim, a atividade proteolítica e o desenvolvimento de enterobactérias e clostrídios (Pedroso, 2013; Kung Jr. et al., 2018; Oliveira, 2019b).

O ácido acético é um ácido fraco, produzido na fase anaeróbica pelas enterobactérias e bactérias heterofermentativas. Concentrações mais elevadas de ácido acético após a abertura do silo influencia na estabilidade aeróbica da silagem, com pKa de 4,75. O ácido é absorvido lentamente pela parede do microrganismo deteriorante, logo, tem o controle deles e melhorando a estabilidade, além de possuir características antifúngicas (Pahlow et al., 2003; Kung Jr. et al., 2018).

O ácido butírico é um ácido fraco que não deve ser detectado em silagens bem fermentadas. Produzido por bactérias do gênero *Clostridium*, anaeróbicos obrigatórios, as quais promovem a fermentação do ácido láctico, açúcares e aminoácidos, produzindo ácido butírico, acético, etanol, e aminas, que causam perdas de matéria seca, pouca recuperação de energia da massa, diminuição da aceitabilidade pelos animais e menor consumo (Visser et al., 2006; Kung Jr. et al., 2018).

O ácido propiônico é produzido por bactérias propiônicas e BAL heterofermentativas. Deve ser detectado em baixas concentrações (< 0,1 %) ou não detectado. O ácido propiônico causa dissociação, reduz a acidificação da massa (pKa 4,87), podendo desenvolver microrganismos indesejáveis (Rutenberg et al., 2016; Kung Jr. et al., 2018).

Microbiologia de silagem

No momento do corte, na cultura, existem microrganismos epifíticos aeróbicos e anaeróbicos, além de bactérias e fungos que encontram-se em concentrações variadas que afetam a qualidade da silagem e o perfil fermentativo (Pahlow et al., 2003; Muck, 2010; Fabiszewska et al., 2019).

As BAL apresentam atuação essencial no processo fermentativo para conservação da massa ensilada. São classificadas como gram-positivas, produtoras de ácido láctico. Os gêneros encontrados na silagem são *Lactobacillus*, *Pediococcus*, *Lactococcus*, *Enterococcus*, *Streptococcus* e *Leuconostoc*, produzem como principal produto o ácido láctico a partir da fermentação da glicose. Podem produzir outros produtos da fermentação como ácido acético, etanol e dióxido de carbono. As BAL são agrupadas em dois grupos, as homofermentadoras e heterofermentadoras; aquelas produzem dois mols de ácido láctico a partir de um mol de glicose; estas produzem um mol de ácido láctico, um mol de dióxido de carbono e um mol

de etanol ou um mol de ácido acético a partir da glicose (Muck, 2010; Poffo; Silva, 2011).

As bactérias acéticas são aeróbicas obrigatórias, pertencem à família *Acetobacteraceae* que são divididas em dois subgêneros *Acetobacter* e *Gluconoacetobacter*. A *Acetobacter* pode oxidar acetato e lactato em CO₂ e água, enquanto *Gluconoacetobacter* não pode. As bactérias acéticas possuem capacidade de crescer em pH baixo, em meio com etanol e ácido acético, produzindo dióxido de carbono e água, o que aumenta o pH da massa e permite o crescimento de outros microrganismos aeróbicos deteriorantes (Pahlow et al., 2003; Muck, 2010).

As bactérias anaeróbicas do gênero *Clostridium* podem prejudicar o perfil e a qualidade da massa ensilada. São bastonetes gram-positivos formadores de esporos, anaeróbicos obrigatórios. A fermentação por eles resulta na redução estabilidade da massa ensilada e perdas da matéria seca, os produtos da fermentação reduz o consumo em vacas no período de transição se tornam mais susceptíveis à cetose (McDonald et al., 1991; Pahlow et al., 2003; Muck, 2010).

Outro grupo de microrganismos indesejáveis na silagem são as enterobactérias, bactérias gram-negativas, anaeróbicas facultativas, produtoras de ácido acético como principal produto da fermentação, o que danifica a massa ensilada. A presença das enterobactérias é indesejável, são as principais bactérias que competem com as BAL por substrato na ensilagem, cujo o controle é pela acidificação inicial rápida (Pahlow et al., 2003; Muck, 2010).

Forragens conservadas estão sujeitas à contaminação por leveduras e fungos. As leveduras são microrganismos aeróbicos. Competem com as bactérias lácticas pelos açúcares disponíveis para fermentação na fase aeróbica. Geralmente, são os primeiros a se desenvolverem após a abertura da silagem, utilizam substratos solúveis com ácido láctico e açúcares para o crescimento, promovem aumento do pH da massa, aumento da temperatura e produção de CO₂, favorecendo desenvolvimento de outros microrganismos deteriorantes. Isso ocorre porque muitas leveduras crescem mesmo em ambiente ácido com pH 3,5 e pelo fato de o ácido láctico ter baixo poder antifúngico (McDonald et al., 1991; Muck, 2010; Basso, et al., 2012).

Os bolores são fungos filamentosos, crescem lentamente em meio aeróbico. Algumas espécies são adaptadas e crescem em ambiente com menor concentração de O₂, pH mais baixos e maiores concentrações de ácidos orgânicos (Muck, 2010; Silva et al., 2015; Kung Jr.

et al., 2018).

Estabilidade aeróbia é definida como o tempo resultante para o aumento da temperatura da silagem em decorrência da exposição ao ar, podendo durar horas até semanas. A quebra da estabilidade acontece quando a temperatura da massa ensilada excede 2 °C em relação à temperatura ambiente, podendo causar a deterioração da massa (Ranjit e Kung, 2000; Bernardes et al., 2007; Chen et al., 2020).

O tempo da estabilidade é afetado pela qualidade da silagem, concentração de MS, teores residuais de carboidratos solúveis, ácido láctico, acético, butírico e o de uso de inoculantes (Chen et al., 2020). Os microrganismos presentes utilizam os carboidratos solúveis, ácidos orgânicos e etanol para fermentação, o que aumenta temperatura e pH, e diminui digestibilidade e energia (Chen et al., 2020).

A estabilidade é influenciada pela relação ácido láctico:ácido acético. O ácido acético possui pKa de 4,75, tem como características ação antifúngica, promove controle de leveduras, promovendo estabilidade (Kung Jr. et al., 2018; Chen et al., 2020). Chen et al. (2020) mostraram que silagens com maiores teores de ácido láctico tiveram maior crescimento de leveduras que silagens com maiores proporções de ácido acético devido à ação antifúngica.

REFERÊNCIAS

- Albuquerque, S. G. Cultivo da palma forrageira no Sertão do São Francisco. Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2000. 6 p. il. (Embrapa Semi-Árido. Comunicado técnico, 91). Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPATSA/8763/1/COT91.pdf>>.
- Almeida, R. F. 2012. Palma forrageira na alimentação de ovinos e caprinos no semi-árido brasileiro. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, 7:4, 08-14.
- Ávila, C. L. S. e Carvalho, B. F. 2019. Silage fermentation - updates focusing on the performance of micro-organisms. *Journal of Applied Microbiology*, 128:966-984. doi: 10.1111/jam.14450
- Basso, F. C.; Lara, E. C.; Assis, F. B.; Rabelo, C. H. S.; Morelli, M. e Reis, R. A. 2012. Características da fermentação e estabilidade aeróbia de silagens de milho inoculadas com *Bacillus subtilis*. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, 13:4, 1009-1019.
- Barbero, R.; Abatzoglou, J. T.; Larkin, N. K.; Kolden, C. A e Stocks, B. 2015. Climate change presents increased potential for very large fires in the contiguous United States. *International Journal of Wildland Fire*, 24, 892–899. <https://doi.org/10.1071/WF15083>
- Bernardes, T. F.; Reis, R. A.; Siqueira, G. R.; Amaral, R. C. e Pires, A. J. V. 2007. Estabilidade aeróbia da ração total e de silagens de capim-marandu tratadas com aditivos químicos e bacterianos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 36:4. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982007000400002>
- Brunkem, J. N. 1977. A systematic study of Pennisetum sect. Pennisetum (Graminae). *American Journal of Botany*, 64:2, 161-176. <https://doi.org/2442104>
- Buxton, D. R. e Redfearn, D. D. 1997. Plant limitations to fiber digestion and utilization. *American Society for Nutritional Sciences*, 127: 814S–818S. <https://doi.org/10.1093/jn/127.5.814S>
- Cavalcante, L. A. D.; Santos, G. R. A.; Silva, L. M.; Fagundes, J. L. e Silva, M. A. 2014. Respostas de genótipos de palma forrageira a diferentes densidades de cultivo. *Pesq. Agropec. Trop.*, 44:424-433.
- Chen, S. W.; Chang, Y. Y.; Huang, H. Y.; Kuo, S. M. e Wang, H. T. 2020. Application of condensed molasses fermentation solubles and lactic acid bacteria in corn silage production. *J Sci Food Agric* 100:2722-2731. doi: 10.1002/jsfa.10304.
- Correia, R. C.; Kiill, L. H. P.; Moura, M. S. B.; Cunha, T. J. F.; Jesus Júnior, L. A. e Araújo, J. L. P.

2011. A região semiárida brasileira. Produção de caprinos e ovinos no Semiárido – EMBRAPA. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/54762/1/01-A-regiao-semiarida-brasileira.pdf-18-12-2011.pdf>

Dessimoni, G. V.; Batista, A. G.; Barbosa, C. D e Dessimoni-Pinto, N. A. V. 2014. Composição bromatológica, mineral e fatores antinutricionais da palma forrageira. *Tecnol. E Ciên. Agropec.*, 8:3, 51-55.

Felkai-Haddache, L.; Dahmoune, F.; Remini, H.; Lefsih, K.; Mouni, L. e Madani, K. 2016. Microwave optimization of mucilage extraction from *Opuntia ficus indica* Cladodes. *International Journal of Biological Macromolecules*, 84, 24–30. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.11.090>

Fluck, A. C.; Schafhäuser Júnior, J.; Alfaya Júnior, H.; Costa, O. A. D.; Farias, G. D.; Scheibler, R. B.; Rizzo, F. A.; Manfron, J. A. S.; Fioreze, V. I. e Rösler, D. C. 2018. Composição química da forragem e do ensilado de azevém anual em função de diferentes tempos de secagem e estádios fenológicos. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 70, 1979-1987. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-9981>

Galvão Júnior, J. G. B.; Silva, J. B. A.; Morais, J. H. G. e LIMA, R. N. 2014. Palma forrageira na alimentação de ruminantes: cultivo e utilização. *Acta Veterinaria Brasilica*, 8:2, 78-85.

JACQUES, A. V. A. 1994. Caracteres morfo-fisiológicos e suas aplicações como manejo. In: CARVALHO, M. M.; ALVIM, M. J.; XAVIER, D. F. et al. (Eds.) *Capim-elefante: produção e utilização*. Coronel Pacheco:Embrapa-Gado de Leite, p.31-47.

KUNG, JR. L. Silage fermentation and additives. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*. Volumen, 26, 3-4, 2018.

Kung Jr., L.; Shaver, R. D.; Grant, R. J. e Schmidt, R. J. 2018. Silage review: Interpretation of chemical, microbial, and organoleptic components of silages. *Journal of Dairy Science*, 101, 4020-4033. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13909>

Lanza, A. L. 2017. Avaliação forrageira do sorgo biomassa (BRS716) em diferentes épocas de corte e estratégias de cobertura. Dissertação (mestrado), Universidade Federal de São João Del Rei, São João Del Rei – MG, 2017.

Leal, D. B.; Monção, F. P.; Rocha Junior, V. R.; Carvalho, C. C. S.; Alencar, A. M. S.; Moura, M. M. A.; Albuquerque, C. J. B.; Sales, E. C. J. e Rigueira, J. P. S. 2020. Correlações entre as características produtivas e nutricionais do capim-BRS capiaçu manejado na região semiárida. *Brazilian Journal of Development*, 6:4, 18951-18960. [10.34117/bjdv6n4-168](https://doi.org/10.34117/bjdv6n4-168)

Lima, G. F. C. 2010. Reservas forrageiras estratégicas para a pecuária familiar no semiárido: palma, feno e silagem. Natal: EMPARN, p.53, v.08. (Circuito de tecnologias adaptadas para a agricultura familiar; 7).

Lopes, E. B. 2012. Palma forrageira: cultivo, uso atual e perspectivas de utilização no semiárido Nordeste. João Pessoa: EMEPA/FAEPA, 2012. 130p.

Macedo, A. J. S.; Santos, E. M.; Oliveira, J. S. e Perazzo, A. F. 2017. Produção de silagem na forma de ração à base de palma: Revisão de Literatura. Revista Electrónica de Veterinária, 18:9, 1-11.

Marques, O. F. C.; Gomes, L. S. P.; Mourthe, M. H. F.; Braz, T. G. S. e Pires Neto, O. S. 2017. Palma forrageira: cultivo e utilização na alimentação de bovinos. Caderno de Ciências Agrárias, 9:1, 75-93.

May, A.; Durães, F. O. M.; Pereira Filho, I. A.; Schaffert, R. E. e Parrella, R. A. C. 2013. Sistema Embrapa de produção agroindustrial de sorgo sacarino para bioetanol: Sistema BRS1G-Tecnologia Qualidade Embrapa. Sete Lagoas-MG: Embrapa Milho e Sorgo, 120, (Documento 139), 2013.

McDonald, P.; Henderson, A. R. e Heron, S. J. E. 1991. The Biochemistry of Silage. Chichester: J. Wiley, 1991.

Monção, F. P.; Costa, M. A. M. S.; Rigueira, J. P. S.; Sales, 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 e Rocha Júnior, V. R. 2020. Productivity and nutritional value of BRS capiaçu grass (*Pennisetum purpureum*) managed at four regrowth ages in a semiarid region. Tropical Animal Health and Production, 52 :235-241. [10.1007/s11250-019-02012-y](https://doi.org/10.1007/s11250-019-02012-y)

Monção, F. P.; Costa, M. A. M. S.; Rigueira, J. P. S.; Sales, E. C. J.; Leal, D. B.; Silva, M. F. P.; Gomes, VM.; Chamone, JMA.; Alves, DD.; Carvalho, CCS.; Murta, JEJ.; Rocha Júnior, VR 2019. Productivity and nutritional value of BRS capiaçu grass (*Pennisetum purpureum*) managed at four regrowth ages in a semiarid region. Tropical Animal Health and Production, 51:6, 1-7. [10.1007/s11250-019-02012-y](https://doi.org/10.1007/s11250-019-02012-y)

Muck, R. E.; Nadeau, E. M. G.; Mcallister, T. A.; Contreras-Govea, F. E.; Santos, M. C e Kung JR., L. 2018. Silage review: Recent advances and future uses of silage additives. Journal of Dairy Science, 101, 3980-4000. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13839>

Muck, R. E. 2010. Silage microbiology and its control through additives. Revista Brasileira de Zootecnia, 39, 183-191. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982010001300021>

Nascimento, R. R.; Edvan, R. L.; Amorim, D. S.; Araújo, J. S.; Silva, J. S.; Sousa, S. V.; Nascimento, K. S.; Barros, L. S e Tomaz, J. L. S. 2020. Métodos de cultivo de mudas de três variedades de palma forrageira. *Braz. J. of Develop.*, 6:5, 32689-32697. DOI:10.34117/bjdv6n5-640

Niechayev, N. A.; Pereira, P. N. e Cushman, J. C. 2019. Understanding trait diversity associated with crassulacean acid metabolism (CAM). *Current Opinion in Plant Biology*, 48: 74-85. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2019.06.004>

Nobel, P. S. 2001. *Biologia ambiental*. In: BARBERA, G., INGLESE, P., BARRIOS, E.P. (Ed.). *Agroecologia, cultivo e usos da palma forrageira*. João Pessoa: SEBRAE-PB: FAO, p. 36-48. (FAO. Estudo da FAO em Produção e Proteção Vegetal, 132).

Nussio, L. G.; Campos, F. P. e Dias, F. N. 2001. Importância da qualidade da porção vegetativa no valor alimentício da silagem de milho. *Anais do Simpósio Sobre Produção e Utilização de Forragens Conservadas*, 2001.

Oliveira, C. V. V.; Barbosa, R. A.; Oliveira, R. T.; Almeida, E. M.; Paludo, F.; Lima, J. A. e Fernandes, P. B. 2020. The tissue flow in *Brachiaria brizantha* pasture under intermittent stocking. *Journal of Agricultural Studies*, 8:1, 9–17. 10.5296/jas.v8i1.15441

Pahlow, G.; Muck, R. E.; Driehuis, F.; Elferink, S. J. W. H. O. e Spoelstra, S. F. 2003. *Microbiology of Ensiling*. *Agronomy Monographs*, 31 – 93. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr42.c2>

Parrella, R. A. C. Desempenho agrônômico de híbridos de sorgo biomassa. *Sete Lagoas: EMBRAPA MILHO E SORGO*, 2011. 19 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 41).

Parrella, R. A. C.; Rodrigues, J. A. S.; Tardin, F. D.; Damasceno, C. M. B. e Schaffert, R. E. 2010. Desenvolvimento de híbridos de sorgo sensíveis ao fotoperíodo visando alta produtividade de biomassa. *Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo*.

Pedroso, A. F. Princípios da produção e manejo de silagens. 2013. Disponível em: <http://www.faemg.org.br/Web/Files/15641203163192351582172192252142252070132146.pdf>

Perazzo, A. F.; Santos, F. N. S.; Santos, E. M.; Oliveira, J. S.; Pinho, R. M. A e Silva, M. A. 2019. Produção de forrageiras no Semiárido brasileiro. *Ensilagem no Nordeste do Brasil*. São Luiz: EDUFMA, 1, 29-86. 10.33448/rsd-v10i2.12473

Pereira, A. V.; Lédo, F. J. S. e Machado, J. C. 2017. BRS Kurumi and BRS Capiáçu - New elephant grass cultivars for grazing and cut-and-carry system. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 17: 59-62. <http://dx.doi.org/10.1590/1984-70332017v17n1c9>

Pereira, A. V.; Ledo, F. J. S.; Morenz, M. J. F.; Leite, J. L. B.; Brighenti, A. M.; Martins, C. E. e

Machado, J. C. BRS Capiaçú: cultivar de capim-elefante de alto rendimento para produção de silagem. Juiz de Fora, MG: Embrapa Gado de Leite, 2016, p. 6 (Comunicado Técnico 79).

Pereira, A. V.; Lédo, F. J. S. e Machado, J. C. 2017. BRS Kurumi and BRS Capiaçú - New elephant grass cultivars for grazing and cut-and-carry system. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 17: 59-62. <https://doi.org/10.1590/1984-70332017v17n1c9>

Pessoa, A. S. Cultura da palma forrageira. Recife: SUDENE. Divisão de Documentação, 1967. 98p. (SUDENE. Agricultura, 5).

Poffo, F. e Silva, M. A. C. 2011. Caracterização taxonômica e fisiológica de bactérias ácido-láticas isoladas de pescado marinho. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 31:2, 303-307. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/cta/v31n2/v31n2a04.pdf>

Oliveira, P. C. S.; Arcanjo, A. H. M.; Moreira, L. C.; Jayme, C. G.; Nogueira, M. A. R.; Lima, F. A. S.; Pena, H. C. e Camilo, M. G. 2014. Qualidade na produção de silagem de milho. *PUBVET*, 8.

Queiroz Filho, J. L.; Silva, D. S. e Nascimento, I. S. 2000. Produção de Matéria Seca e Qualidade do Capim-Elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) Cultivar Roxo em Diferentes Idades de Corte. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 29:69-74. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982000000100010>

Queiroz, F. E.; Rocha, V. R.; Monção, F. P.; Rigueira, J. P. S.; Parrella, R. A. C.; Rufino, L. D. A.; Santos, A. S. e Cordeiro, M. W. S. 2021. Effect of row spacing and maturity at harvest on the fermentative profile, aerobic stability, and nutritional characteristics of biomass sorghum (BRS 716) silage in the semiarid region of Brazil. *Revista brasileira de zootecnia*, 50, 1-13. [10.5433/1679-0359.2022v43n1p121](https://doi.org/10.5433/1679-0359.2022v43n1p121)

Ramos, J. C. P.; Rocha Júnior, V. R.; Monção, F. P.; Parrella, R. A. C.; Caxito, A. M.; Cordeiro, M. W. S.; Hora, F. F. e Pires, D. A. A. 2021. Effect of replacing forage sorghum silage with biomass sorghum silage in diets for F1 Holstein × Zebu lactating cows. *Tropical animal health and production*, 53, 99. [10.1007/s11250-020-02503-3](https://doi.org/10.1007/s11250-020-02503-3)

Ranjit, N. K. e Kung JR, L. 2000. The effect of *Lactobacillus buchneri*, *Lactobacillus plantarum* or Chemical preservative on the fermentation and stability of corn silage. *Journal of Dairy Science*, 83:526–535. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(00)74912-5.

Rocha, J. E. S. 2012. Palma Forrageira no Nordeste do Brasil: Estado da Arte. Dados eletrônicos. — Sobral : Embrapa Caprinos e Ovinos.

Rosa, W. J. Cultura do Sorgo. Emater–MG. Disponível em: https://www.emater.mg.gov.br/doc/intranet/upload/MATERIAL_TECNICO/a%20cultura%20

do%20sorgo.pdf

Rutenberg, R.; Granit, R., Chen, Y.; Poverenov, E. e Wi Weinberg, Z. G. 2016. Encapsulated propionic acid as a silage additive. *Israel Journal of Plant Sciences*, 63:1, 58-63. DOI: 10.1080/07929978.2016.1151291

Sampaio, R. L.; Resende, F. D.; Reis, R. A.; Oliveira, I. M.; Custódio, L.; Fernandes, R. M.; Pazdiora, R. D. e Siqueira, G. R. 2017. The nutritional interrelationship between the growing and finishing phases in crossbred cattle raised in a tropical system. *Tropical Animal Health and Production*, 49, 1015-1024. 10.1007/s11250-017-1294-8

Santos, P. M.; Voltolini, T. C.; Cavalcante, A. C. R.; Pezzopane, J. R. M.; Moura, M. S. B.; Silva, T. G. F.; Bettioli, G. M. e Cruz, P. G. 2011. Global climatic changes and animal production: future scenarios for the Brazilian tropical semiarid. *Revista Caatinga*. 4, 1176–1196.

Simões, D. A. e Sampaio, E. V. S. B. 2005. (Ed.). *A palma no Nordeste do Brasil: conhecimento atual e novas perspectivas de uso*. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2005b. p. 143-162.

Silva, T. S. Potencial do uso de palma forrageira e espécies tropicais na forma de silagens em dietas para ovinos. Tese (Doutor em Zootecnia) - Universidade Federal da Paraíba. Areia – PB, p. 91, 2019.

Silva, J. M.; Feijó, G. L. D; Thiago, L. R. L. S.; Kichel, N. A. e Porto, J. C. A. 1999. Desempenho animal e avaliação do potencial produtivo de forragens para ensilagem, por intermédio de diferentes fontes de suplementação nitrogenada. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 28:3, 642-653. <https://doi.org/10.1590/S1516-35981999000300024>

Sorgo biomassa é ótima opção para geração de energia. Embrapa, Notícias, 18/11/14. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/2246665/sorgo-biomassa-e-otima-opcao-para-geracao-de-energia>

Souza, I. D. A. S.; Rocha Júnior, V. R.; Monção, F. P.; Parrela, R. A. C.; Cordeiro, M. W. S.; Carvalho, C. C. S.; Rigueira, J. P. S.; Silva, F. V e Delvaux Junior, N.A. 2021. Yield and nutritional value of biomass sorghum (BRS 716) managed in different row spacing and maturity at harvest in the semiarid region of Brazil. *Semina. Ciências agrárias (online)*, 42:3463-3484. 10.5433/1679-0359.2021v42n6p3463

Yang, H. Y.; Wang, X. F.; Liu, J. B.; Gao, L. J.; Ishii, M.; Igarashi, Y. e Cui, Z. J. 2006. Efeitos do teor de carboidratos solúveis em água na fermentação de silagem de palha de trigo [*Triticum aestivum*]. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 101:3, 232-7, 2006

Capítulo 1: 4. Qualidade de silagens mistas de sorgo e capim-BRS capiaçu com e sem palma forrageira em região semiárida do Brasil

Amanda Maria Silva Alencar¹, Vicente Ribeiro Rocha Júnior¹, Flávio Pinto Monção¹, Matheus Wilson Silva Cordeiro¹, Alexandre Soares dos Santos², João Paulo Sampaio Rigueira¹, Larissa Inácio Soares de Oliveira¹, João Vitor Araújo Ananias¹

***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 Animal Science and Technology, State University of Montes Claros, Avenue Reinaldo Viana, 2630, Janaúba, Minas Gerais, Brazil.

² Federal University of the Jequitinhonha and Mucuri Valleys, Diamantina, Minas Gerais, Brazil

Qualidade de silagens mistas de sorgo, capim-BRS capiaçu e palma forrageira em região semiárida do Brasil

RESUMO. Objetivou-se avaliar silagens de sorgo forrageiro, sorgo biomassa BRS 716 e de capim-BRS capiaçu associados ou não com palma forrageira sobre o perfil fermentativo e valor nutricional. Foram avaliadas as silagens a base de sorgo forrageiro cv. Volumax; sorgo biomassa cv. BRS 716; capim-BRS capiaçu; nas silagens mistas de biomassa cv. BRS 716 e capim-BRS capiaçu. A inclusão de palma forrageira *Opuntia ficus indica* Mill (gigante) foi de 40% na base da matéria natural. O experimento foi conduzido seguindo o delineamento experimental inteiramente casualizado, com cinco tratamentos e oito repetições. As maiores ($P<0,01$) temperaturas foram verificadas na silagem de sorgo Volumax e sorgo biomassa BRS 716. A quebra da estabilidade aeróbia da silagem foi verificado às 108 horas pós-abertura dos silos. As maiores perdas por gases ($P<0,01$) e menores recuperações da MS ($P<0,01$) foram verificadas nas silagens de capim-BRS capiaçu e capim-BRS capiaçu com palma forrageira. A concentração de ácido lático na silagem de sorgo biomassa BRS 716 com palma forrageira foi 49,96 % superior à silagem de sorgo Vomulax (média de 41,52 g/kg de MS). As silagens de sorgo Volumax e biomassa BRS 716 apresentaram maiores teores de matéria seca ($P<0,01$; média de 33,44 %) em relação às demais silagens. A silagem de sorgo Volumax e sorgo biomassa BRS 716 com palma forrageira apresentaram valores de fração solúvel em água (fração a) da MS 23,59 % superior ($P<0,01$) em relação aos demais tratamentos (média de 19,14%). Não houve diferença ($P=0,24$) entre as silagens quanto à fração insolúvel potencialmente degradável (fração b) da MS, com média de 51,75 %. A silagem mista de sorgo biomassa com palma forrageira apresentou menores perdas e maior recuperação de matéria seca.

Palavras-chave: Composição química, Digestibilidade, *Nopalea*, *Pennisetum*, silagem, *Sorghum bicolor*

Quality of mixed silages of sorghum, BRS *capiacu* grass and forage cactus in a semi-arid region of Brazil

RESUMO: This study aimed to evaluate silages of forage sorghum, BRS 716 biomass sorghum and *capiacu* grass associated or not with forage cactus on the fermentative profile and nutritional value. Silages of forage sorghum cv. Volumax; biomass sorghum cv. BRS 716; BRS *capiacu* grass; in mixed silages of biomass cv. BRS 716 and BRS *capiacu* grass were evaluated. The inclusion of forage cactus *Opuntia ficus indica* Mill (giant) was 40 % in the natural matter base. The experiment was carried out following a completely randomized design, with five treatments and eight replications. The highest ($P<0.01$) temperatures were observed in silage of Volumax sorghum and BRS 716 biomass sorghum. The breaking in the aerobic stability of the silage was verified at 108 hours after the opening of the silos. The highest gas losses ($P<0.01$) and lowest DM recoveries ($P<0.01$) were observed in silages of BRS *capiacu* and BRS *capiacu* grass with forage cactus. The lactic acid concentration in BRS 716 biomass sorghum silage with forage cactus was 49.96 % higher than Volumax sorghum silage (average of 41.52 g/kg DM). The silages of sorghum Volumax and BRS 716 biomass presented higher dry matter contents ($P<0.01$; mean of 33.44 %) in relation to the other silages. Volumax sorghum silage and BRS 716 biomass sorghum with forage cactus showed 23.59 % higher values of water-soluble fraction (fraction a) of DM ($P<0.01$) in relation to the other treatments (average of 19.14%). There was no difference ($P=0.24$) between the silages regarding the potentially degradable insoluble fraction (fraction b) of DM, with an average of 51.75 %. The mixed silage of biomass sorghum with forage cactus showed lower losses and higher recovery of dry matter.

Keywords: Chemical composition, Digestibility, *Nopalea*, *Pennisetum*, silage, *Sorghum bicolor*

4.1 Introdução

A ensilagem de grãos e/ou plantas forrageiras é uma técnica utilizada no mundo inteiro para conservar alimentos para os animais ruminantes. O milho é a cultura mais utilizada para produção de silagem (Bernades e Rego, 2014; Daniel et al., 2019). Contudo, sua elevada exigência principalmente em umidade no solo tem restringido o plantio em zonas com déficit hídrico como as regiões áridas e semiáridas do mundo (McCary et al., 2020).

No Brasil, o sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) tem sido amplamente cultivado para produção de grãos e silagens (i.e., Volumax). Isso tem ocorrido porque o sistema radicular profundo do sorgo é capaz de extrair nutrientes e umidade do solo, possibilitando crescer e produzir massa forrageira em condições de estresse hídrico (pluviosidade média 500 mm) e elevadas temperaturas como na região semiárida. Além disso, se bem manejado, o sorgo é tolerante a déficit hídrico, pragas e doenças e ao acamamento, sendo promissor como fonte de nutrientes para animais ruminantes. O rendimento de massa seca (MS) anual varia de 10 a 50 t/ha (Qu et al., 2014; Almeida et al., 2019; Souza et al., 2021), com maiores produtividades para as variedades de sorgos biomassa (i.e., BRS 716) com bom valor nutricional (Ramos et al., 2021; Queiroz et al., 2022). Souza et al. (2021) demonstraram elevada produtividade do sorgo biomassa BRS 716, com 36,61 toneladas por hectare de matéria seca em um único corte, em região semiárida do Brasil.

A escolha de forrageiras com elevada produtividade de massa por unidade de área para produção de silagem tem sido foco de muitos fazendeiros para reduzir os custos com alimentação dos animais, principalmente em sistemas intensivos de produção. Nesse sentido, o cultivo de capim-BRS capiaçu (*Pennisetum purpureum* Schum.) tem se destacado no Brasil em decorrência da sua produtividade de massa seca anual ser superior a 50 t/ha (Monção et al., 2020a; Ribas et al., 2021). Contudo, a qualidade das silagens de sorgo biomassa e capim-BRS capiaçu pode ser limitada em função das baixas concentrações de carboidratos solúveis durante a ensilagem, importante substrato para as bactérias homofermentativas na produção de ácidos. De acordo com Monção et al. (2020b), a palma forrageira (*Opuntia* ou *Nopalea*) é uma cactácea rica em carboidratos solúveis (maior que 200 g/kg de MS), amplamente cultivada na região semiárida do Brasil (acima de 550 mil hectares; Dubeux Jr. et al., 2021), com potencial de uso para produção de silagens mistas com forrageiras tropicais. No entanto, o elevado teor de água presente na palma forrageira, apesar de não estar livre na célula e sim na forma de mucilagem, pode comprometer a fermentação e a qualidade da massa ensilada.

Silagens mistas de sorgo biomassa e capim-BRS capiaçu associadas com palma forrageira não são comuns no meio rural. Assim, há lacunas no conhecimento quanto ao perfil fermentativo, perdas de MS e valor nutricional que podem ser esclarecidas por meio de pesquisas. Hipotetiza-se que a inclusão de palma forrageira durante a ensilagem de sorgo biomassa BRS 716 e capim-BRS capiaçu melhora o perfil fermentativo e o valor nutricional das silagens produzidas, além de favorecer a logística dos sistemas de produção com o uso da palma, especialmente com redução da mão de obra

Com base no exposto, objetivou-se avaliar silagens de sorgo forrageiro e biomassa BRS 716 e silagem de capim-BRS capiaçu associados ou não com palma forrageira sobre o perfil fermentativo e valor nutricional das silagens

4.2 Material e Métodos

4.2.1 Declaração de ética

Os procedimentos de cuidado e manejo dos animais utilizados no experimento estavam de acordo com diretrizes da Comissão de Ética em Experimentação e Bem-Estar Animal (CEEBEA) da Universidade Estadual de Montes Claros, (protocolo nº 222/2020).

4.2.2 Local do experimento

O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental da UNIMONTES, no município de Janaúba (coordenadas geográficas: 15 ° 52'38 "S, 43 ° 20'05" W), Minas Gerais. O clima da região, segundo a classificação de Köppen (1948), é do tipo Aw, com chuvas de verão e períodos de seca bem definidos no inverno. A precipitação média anual é inferior a 800 mm, com temperatura média anual de 27 °C. O clima é tropical mesotérmico, quase megatérmico, devido à altitude, subúmido e semiárido, com chuvas irregulares, causando longos períodos de seca.

4.2.3 Tratamentos e delineamento experimental

Utilizaram-se silos experimentais para confecção das silagens de sorgo forrageiro cv. Volumax; sorgo biomassa cv. BRS 716; capim-BRS capiaçu; 60% de sorgo biomassa BRS 716 + 40% de palma forrageira *Opuntia ficus indica* Mill (gigante), na base da matéria natural; e 60% de capim-BRS capiaçu + 40% de palma forrageira *Opuntia ficus indica* Mill (gigante), na base da matéria natural. O experimento foi conduzido seguindo o delineamento experimental

inteiramente casualizado, com cinco tratamentos e oito repetições.

4.2.4 Culturas e obtenção dos tratamentos

Todos os volumosos foram cultivados na Fazenda Experimental da UNIMONTES. O sorgo Volumax e o biomassa BRS 716 foram plantados em novembro de 2019. Uma aração e duas gradagens foram realizadas como preparo do solo, antes do plantio, para uniformização da área. Amostras de solo foram coletadas para análise 90 dias antes do plantio. Foi utilizado solo vermelho-amarelo eutrófico com textura argilosa com as seguintes características químicas: pH em CaCl_2 , 6,3; P (Mehlich), 21,2 mg dm^{-3} ; K (Mehlich), 110 mg dm^{-3} ; Na (Mehlich), 0,3 cmolc dm^{-3} ; Ca $^{2+}$, 3,9 cmolc dm^{-3} ; Mg $^{2+}$, 1,1 cmolc dm^{-3} ; Al $^{3+}$, 0,0 cmolc dm^{-3} ; H + Al (acetato de cálcio 0,5 mol L^{-1}), 1,2 cmolc dm^{-3} ; soma de bases 5,5 cmolc dm^{-3} ; Capacidade de troca de cátions, 6,7 cmolc dm^{-3} ; Saturação de base (V), 82%. Durante a fase de plantio, aplicou-se adubo NPK (05-30-10) conforme recomendação da análise de solo para cultura do sorgo. O controle de plantas daninhas e pragas foi realizado por meio de herbicida à base de Atrazina e aplicação de inseticidas/fungicidas, respectivamente, utilizando-se pulverizador de barra acoplado ao trator. O sorgo Volumax foi colhido aos 110 dias, e o sorgo biomassa BRS 716 aos 160 dias após o plantio (Queiroz et al., 2021; Souza et al., 2021).

O capim-BRS capiaçu (*Pennisetum purpureum* Schum) foi estabelecido em 2016 em uma área plana de 50 m x 100 m. As características químicas do solo aos 30 dias antes do corte de uniformização do capim foram as seguintes: pH em H_2O 6,1; MO 2,6 dag kg^{-1} ; P, K e Na em Mehlich^{-1} de 3,8; 120, e 0,1 mg dm^{-3} , respectivamente; Ca, Mg e Al extraídas em $\text{KCl } 1\text{mol L}^{-1}$ com valores de 4,7; 1,9 e 0,0 cmolc dm^{-3} , respectivamente; e o H+Al com 2,9 cmol c dm^{-3} ; T = 9,9 cmolc.dm^{-3} ; V = 70%. Após o corte de uniformização do capim-BRS capiaçu, 10 cm acima do solo utilizando podão manual, foi feita adubação de manutenção com 100 kg/ha de nitrogênio na forma de ureia, e 60 kg/ha de potássio na forma de cloreto de potássio por meio da fertirrigação por aspersão. A altura do capim-BRS capiaçu na colheita era de aproximadamente 3,9 m aos 110 dias de rebrota (Monção et al., 2019).

A palma forrageira variedade Gigante foi implantada no ano de 2014, numa área de 250 m^2 , em um solo da classe latossolo vermelho-amarelo eutrófico. As coletas das amostras de solo para análise química foram feitas 765 dias antes da colheita apresentando as seguintes características químicas na camada de 0 a 20 cm: pH em H_2O 6,0; fósforo e potássio (Melich^{-1}) 65,7 e 207 mg/dm^3 , respectivamente; cálcio, magnésio e alumínio (extrator $\text{KCl } 1\text{ mol/L}$),

3,1; 1,6 e 1,6 cmolc/dm³, respectivamente; matéria orgânica, 1,3 dag/kg, saturação por bases, 77 % e CTC, 6,8 cmolc/dm³. O controle de plantas daninhas e insetos foi realizado por meio capina manual e inseticida Engeo Pleno[®] quando necessário. A colheita foi feita manualmente sem remover o cladódio primário.

As variedades de sorgo e o capim-BRS capiaçu foram trituradas em ensiladora mecanizada (Model JF C90, JF Máquinas, São Paulo, Brasil) com facas ajustadas para corte e obtenção de partícula de 2 cm. Após corte manual, a palma forrageira foi processada em fatiadora forrageira elétrica MC1N (Laboremus[®], Campina Grande, Paraíba, Brasil), regulada para resultar em corte de 2 cm sem maceração. No momento da ensilagem dos tratamentos contendo palma forrageira, todo material foi pesado em balança mecânica garantindo a proporção de 60 % da gramínea (Sorgo Biomassa ou capim-BRS capiaçu) e 40% de palma forrageira e homogeneizado.

4.2.5 *Processo de ensilagem*

Foram utilizados silos experimentais de polyvinyl chloride (PVC) de peso conhecido, com 50 cm de comprimento e 10 cm de diâmetro, para produzir a silagem. No fundo dos silos continham 10 cm de areia seca (400 g) que foi separada da forragem por espuma para quantificar o efluente produzido. As silagens contendo palma forrageira foram confeccionadas no mesmo momento. O material resultante de cada tratamento foi depositado nos silos e compactado com um êmbolo de madeira. Para cada tratamento, quantificou-se a densidade da silagem (550 kg de material natural m⁻³) e depositaram-se aproximadamente 4 kg do material picado de cada forragem fresca, conforme recomendado por Sucu et al. (2016). Após o enchimento, os silos foram fechados com tampas de PVC equipadas com válvulas tipo *Bunsen*, seladas com fita adesiva e pesadas. Os silos foram armazenados à temperatura ambiente e foram abertos 130 dias após a ensilagem.

4.2.6 *Estabilidade aeróbia*

A estabilidade aeróbica foi determinada colocando-se uma amostra de silagem (aproximadamente 2 kg) em minissilo e mantida em uma sala com temperatura ambiente controlada (24,5–25,5 °C). A temperatura da silagem foi mensurada a cada hora usando *data logger* colocado no centro da massa por nove dias. A temperatura ambiente também foi mensurada a cada hora por um coletor de dados colocados perto dos minissilos. 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 (Moran et al., 1996).

4.2.7 Perdas fermentativas

As perdas de matéria seca nas silagens sob as formas de gases e efluentes foram quantificadas por diferença de peso de acordo com Jobim et al. (2007). Para a perda por efluente, foi utilizada a equação 1.

$$E = (Pab - Pen) / (MVfe) \times 1000 \quad (\text{Equação 1})$$

onde:

E: produção de efluentes (kg/tonelada de massa verde); Pab: peso do conjunto (silo+tampa+areia úmida+espuma) na abertura (kg); Pen: peso do conjunto (silo+tampa+areia seca+ espuma) na ensilagem (kg); MVfe: massa verde de forragem ensilada (kg).

A perda de matéria seca na forma de gases foi calculada pela diferença entre o peso bruto da matéria seca ensilada inicial e final, em relação à quantidade de MS ensilada, descontados o peso do conjunto silo e areia seca, conforme a equação (2):

$$G = [(PCen - Pen) * MSen] - [(PCab - Pen) * MSab] \times 100 / [(PCen - Pen) * MSen] \quad (\text{Equação 2})$$

Em que:

G: perdas por gases (% MS); PCen: peso do silo cheio na ensilagem (kg); Pen: peso do conjunto (silo + tampa + areia seca + espuma) na ensilagem (kg); MSen: teor de matéria seca da forragem na ensilagem; PCab: peso do silo cheio na abertura (kg); MSab: teor de matéria seca da forragem na abertura. A recuperação da MS para cada silo foi calculada com base nos pesos inicial e final nos teores de MS das forragens e silagens conforme, Jobim et al. (2007).

4.2.8 Avaliação do pH, nitrogênio amoniacal e ácidos orgânicos

A determinação do pH, nitrogênio amoniacal (N-NH₃) e ácidos orgânicos (Pryce, 1969) foi realizada nos sulcos da silagem obtidos usando prensa mecânica de 16 toneladas. O pH foi medido com potenciômetro (DM-22, Digimed, São Paulo, SP, Brasil) e o N-NH₃ foi mensurado conforme Noel e Hambleton (1976). Os ácidos graxos voláteis foram determinados por cromatografia líquida (Shimadzu® Prominence System modelo 20A, Kyoto, Japão), equipado com detector UV-Vis ajustado para 210 nm, injetor automático calibrado para 5 µL de volume

de amostra e 300 x Coluna Rezex™ ROA-Ácido Orgânico + 7,8 mm (Phenomenex) mantido a 60 °C em estufa. Os analitos foram diluídos com 2,5 mM de H₂SO₄ a uma taxa de fluxo de 0,6 mL min⁻¹. Padrões externos foram usados para fins quantitativos de calibração.

4.2.9 Composição químico-bromatológica e cinética ruminal

Uma parte das silagens foi pré-seca em estufa de ventilação forçada a 55 °C. Posteriormente, todas as amostras foram moídas em moinho de facas com peneira de malha com crivos de 1 mm de diâmetro para análises laboratoriais, e uma parte das amostras foi moída em peneira com crivos de 2 mm de diâmetro para incubação *in situ*. As amostras foram analisadas quanto aos teores de matéria seca (INCT-CA G-001/1 e G-003/1), proteína bruta (INCT-CA N-001/2), extrato etéreo (INCT-CA G-004/1), e cinzas (INCT-CA M-001/2), fibra em detergente neutro (FDN; INCT-CA F-001/2) e a fibra em detergente ácido (INCT-CA F-003/2), com as devidas correções para cinzas (INCT-CA M-002/2) e proteínas (INCT-CA N-004/2), fibra em detergente neutro indigestível (FDNi) (INCT-CA F-008/2), teores de compostos nitrogenados insolúveis em detergente neutro (PIDN) e em detergente ácido (PIDA), lignina (INCT-CA F-005/2) e os carboidratos não fibrosos, seguindo as recomendações descritas por Detmann et al. (2021). O teor de fibra em detergente neutro potencialmente digestível (FDNpd) foi calculado pela diferença da FDNcp e FDNi. O teor de nutrientes digestíveis totais (NDT) foi estimado de acordo com NRC (2001). A composição química *in natura* das forragens utilizadas para produção de silagem pode ser verificada na Tabela 1.

Para o ensaio de cinética ruminal, seguiu-se a metodologia (Método G-009/1) descrita por Detmann et al. (2021). Foram utilizados dois novilhos mestiços canulados no rúmen, com peso corporal médio de 550 ± 30 kg e idade média de 8 anos. Os animais foram adaptados por 14 dias à dieta contendo 4 kg de concentrado (25 % PB e 65 % NDT), dividido em duas refeições, pela manhã e tarde, além do fornecimento de volumoso à base de silagens (30 % silagem de capim-BRS capiaçu e 30 % silagem de sorgo BRS 716) e 20 % palma forrageira. A relação volumoso:concentrado da dieta foi de 80:20 com base na MS. Foi fornecido também água e sal mineral *ad libitum*. O consumo de MS dos animais foi estimado em 2,3 % do peso corporal e as médias de pH e nitrogênio amoniacal ruminal no momento da incubação foram de 6,98 e 13,04 mg/dL, respectivamente.

A técnica de degradabilidade *in situ* foi realizada usando sacos de tecido não tecido de 7,5 x 15 cm (TNT, peso 100) com porosidade aproximada de 60 µm, de acordo com Casali et

al. (2009); o número de amostras foi determinado a partir da razão de 20 mg de MS.cm⁻² de área de superfície do saco (Nocek, 1988).

As amostras foram depositadas na região do saco ventral do rúmen por 0, 3, 6, 12, 24, 48, 72, 96, 120 e 144 horas, permanecendo a extremidade do fio de náilon amarrado à cânula. Os sacos referentes ao tempo zero não foram incubados no rúmen, mas foram lavados em água corrente, à semelhança dos sacos incubados. Todas as amostras foram retiradas e lavadas em água fria, visando paralisação da fermentação ruminal. Posteriormente, as amostras foram colocadas em estufas a 55 °C durante 120 horas e, posteriormente, resfriadas em dessecador e pesadas. Os resíduos remanescentes nos sacos de tecido não tecido (TNT), recolhidos no rúmen, foram analisados quanto aos teores de MS e FDN conforme metodologia supracitada. A porcentagem de degradação foi calculada pela proporção de alimentos remanescentes nos sacos após a incubação ruminal.

Os dados obtidos foram ajustados para uma regressão não linear pelo método de Gauss-Newton, por meio do software SAS 9.0 (SAS Institute Inc., Cary, NC), conforme a equação proposta por Detmann et al. (2021): $Dt=A+B \times (1-e^{-c \times t})$, em que: Y = degradação acumulada do componente nutritivo analisado, após o tempo t; a = intercepto de curva de degradação quando t = 0, que corresponde à fração solúvel em água do componente nutritivo analisado; b = potencial da degradação da fração insolúvel em água do componente nutritivo analisado; a + b = degradação potencial do componente nutritivo analisado quando o tempo não é fator limitante; c = taxa fracional de degradação (h⁻¹); t = tempo de incubação. Depois de calculados, os coeficientes a, b e c foram aplicados à equação proposta por Detmann et al. (2021): $DE=a+(b \times c/c+k)$, em que: DE = degradação ruminal efetiva do componente nutritivo analisado; k = taxa de passagem de partículas no rúmen estimadas em 5 % h⁻¹ (AFRC, 1993).

4.2.10 Análises estatísticas

Os dados foram analisados no SISVAR® com modelo contendo os efeitos fixos das silagens (tratamentos). As médias foram comparadas usando o teste de Scott-Knott a 5 % de probabilidade. O procedimento UNIVARIATE foi utilizado para detectar *outliers* ou valores influentes e examinar a normalidade dos resíduos.

As variáveis referentes ao perfil fermentativo e composição químico-bromatológica foram analisadas conforme o modelo: $Y_{ij} = \mu + t_i + e_{ij}$,

Em que:

Y_{ij} = valor observado para variável i em relação ao tratamento na j repetição; m = média de todas unidades experimentais para variável em estudo;

t_i = efeito do tratamento i no valor da observação Y_{ij} ;

e_{ij} = erro associado à observação Y_{ij} independente, que por hipótese tem distribuição normal com média zero e variância δ^2 .

O ensaio de degradabilidade ruminal da MS e FDN foi conduzido em delineamento em blocos casualizados em parcelas subdivididas, sendo cinco tratamentos (parcelas) e 10 tempos de incubação (subparcelas). A variação em peso corporal dos animais em cada animal foi o fator de blocagem. Os dados foram analisados no SISVAR[®] com modelo contendo os efeitos fixos das silagens (tratamentos). As médias foram comparadas usando o teste de Scott-Knott a 5 % de probabilidade. Foi utilizado o seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + B_j + e_{ij} + P_k + TP_{ik} + e_{ijk}$$

Em que:

Y_{ijk} = A observação referente ao tempo (P) na subparcela k do tratamento (T) i no bloco j ;

μ = constante associada a todas as observações;

T_i = Efeito do tratamento “ i ”, com $i = 1, 2, 3, 4$ e 5 ; B_j = Efeito do bloco j , com $j = 1$ e 2 ;

e_{ij} = erro experimental associado às parcelas que por hipótese tem distribuição normal com média zero e variância δ^2 ;

P = Efeito do tempo de incubação k , com $k=1,2,3,4,5,6,7,8,9$ e 10 ;

TP_{ik} = Efeito da interação do nível i de Tratamento com o nível k do Tempo de incubação;

e_{ijk} = erro experimental associado a todas as observações que por hipótese tem distribuição normal com média zero e variância δ^2 .

4.3 Resultados

4.3.1 Estabilidade aeróbia

Houve interação ($p < 0,01$) das silagens e tempo após abertura sobre os valores de temperatura. No momento da abertura (Tempo zero), as temperaturas das silagens de sorgo biomassa BRS 716 e capim-BRS capiaçu não diferiram entre si com média de $26,09$ °C e foram $0,83$ °C superior à média das demais silagens (Figura 1).

Dentro dos tempos de 24, 48 e 72 horas, não houve diferença entre as silagens sobre o valor da temperatura, com médias de 25,29 °C, 25,72 °C e 26,27 °C, respectivamente. Nos demais tempos de exposição aeróbia das silagens, as maiores ($P < 0,01$) temperaturas foram verificadas na silagem de sorgo Volumax e sorgo biomassa BRS 716. Houve quebra da estabilidade aeróbia das silagens 108 horas após a abertura dos silos (Figura 2).

Não houve interação ($P = 0,17$) das silagens e tempo após abertura sobre os valores de pH durante a estabilidade aeróbia. As médias dos tratamentos e dos tempos pós-abertura foram apresentadas isoladamente. Entre os tratamentos foi verificado que as silagens de capim-BRS capiaçu e capim-BRS capiaçu com palma apresentaram valores de pH (média de 5,73) 22,52 % superiores às demais (Figura 3). À medida que aumentaram os tempos de exposição aeróbia da silagem houve incremento de 0,162 unidades diárias nos valores de pH (Figura 4). Em média, o valor de pH observado na abertura do silo foi de 4,43.

4.3.2 Perdas de matéria seca e perfil fermentativo

As maiores perdas por gases ($P < 0,01$) e menor concentração de ácido succínico ($P < 0,01$), ácido acético ($P < 0,01$) e ácido propiônico ($P < 0,01$) foram observadas nas silagens de capim-BRS capiaçu e capim-BRS capiaçu com palma forrageira (Tabela 2). Nessas silagens, as perdas por gases foram 57,59 % superiores às silagens de biomassa BRS 716 e biomassa BRS 716 com palma forrageira (média de 52,45 g/kg de MS). A silagem de capim-BRS capiaçu apresentou maiores perdas por efluentes em relação às demais silagens. As silagens contendo palma forrageira apresentaram perdas por efluentes semelhantes (média de 52,44 kg/t de massa verde (MV)). A silagem de sorgo biomassa BRS 716 com palma forrageira revelou maior concentração de ácido láctico ($P < 0,01$) e ácido acético ($P < 0,01$) em relação às demais silagens. A concentração de ácido láctico na silagem de sorgo biomassa BRS 716 com palma forrageira foi 49,96 % superior à silagem de sorgo Vomulax (média de 41,52 g/kg de MS). A maior concentração de ácido butírico ($P < 0,01$) foi verificada na silagem de sorgo Volumax. As concentrações de etanol nas silagens de sorgo biomassa, capim-BRS capiaçu e capim-BRS capiaçu com palma forrageira não diferiram entre si ($P > 0,05$; média de 1,37 g/kg de MS).

4.3.3 Composição química

As silagens de sorgo Volumax e biomassa BRS 716 apresentaram maiores teores de matéria seca ($P < 0,01$; média de 33,44%) em relação às demais silagens (Tabela 3). A

concentração de nitrogênio amoniacal (N-NH₃) foi maior na silagem de capim-BRS capiaçu (P<0,01) e capim-BRS capiaçu com palma forrageira (P<0,01). A silagem de capim-BRS capiaçu com palma forrageira apresentou teor de MS 37,65 % menor que a média das demais silagens (média de 28,20 %). A silagem de capim-BRS capiaçu com palma forrageira apresentou maior teor de cinzas (P<0,01). A silagem de sorgo Volumax apresentou teor de proteína bruta 34,01 % superior à média das demais silagens (5,49 %). Não houve diferença nos teores de extrato etéreo das silagens de sorgo Volumax, sorgo biomassa BRS 716 com palma forrageira e capim-BRS capiaçu com palma forrageira (média de 3,22%). As silagens de capim-BRS capiaçu e silagem de sorgo biomassa BRS 716 apresentaram maiores teores de fibra em detergente neutro corrigida para cinzas e proteínas (P<0,01) e fibra em detergente neutro potencialmente digestível (P<0,01) em relação às demais. Os teores de carboidratos não fibrosos das silagens de sorgo Volumax, silagem de sorgo biomassa e silagem de sorgo biomassa com palma forrageira foram 46,64% superiores em comparação às silagens de capim-BRS capiaçu e capim-BRS capiaçu com palma forrageira (média de 148,7 g/Kg de MS). Os menores teores de nutrientes digestíveis (P<0,01) totais foram verificados nas silagens de capim-BRS capiaçu e capim-BRS capiaçu com palma forrageira (média de 458,4%). Não houve diferença entre as silagens sobre os teores de matéria seca indigestível (P=0,45) e fibra em detergente neutro indigestível (P=0,90), médias de 371,05 g/kg de MS e 267,94 g/kg de MS, respectivamente. A silagem de capim-BRS capiaçu apresentou teor de fibra em detergente ácido indigestível (P=0,03) 19,48 % superior às demais silagens (média de 192,11 g/kg de MS).

4.3.4 Cinética ruminal

Houve diferença entre as silagens sobre os parâmetros da cinética ruminal da matéria seca e fração fibrosa (Tabela 4). As silagens de sorgo Volumax e sorgo biomassa BRS 716 com palma forrageira apresentaram valores de fração solúvel em água (fração a) da MS 23,59 % superiores (P<0,01) em relação aos demais tratamentos (média de 19,14 %). Não houve diferença (P=0,24) entre as silagens quanto à fração insolúvel potencialmente degradável (fração b) da MS, média de 51,75 %. A maior taxa de degradação da fração b “c” foi verificada nas silagens com palma forrageira. A degradabilidade potencial da MS foi 5,66 unidades percentuais maior na silagem de sorgo Volumax e sorgo biomassa BRS 716 com palma forrageira, média de 75,84 %, em comparação às demais silagens.

A silagem de sorgo biomassa com palma forrageira apresentou maior degradabilidade

efetiva da MS em comparação às outras silagens avaliadas. Para a fração insolúvel potencialmente degradável da fibra em detergente neutro (FDN) padronizada (Fração Bp; P=0,14) e taxa de degradação da fração Bp “c” (P=0,16) não foi verificada diferença entre as silagens, média de 49,76 % e 2,56 %/h, respectivamente. A maior degradabilidade efetiva da FDN foi verificada nas silagens de sorgo BRS 716, BRS 716 com palma forrageira e capim-BRS capiaçu com palma forrageira (média de 22,79 %).

4.4 Discussão

O sorgo forrageiro Volumax tem sido amplamente produzido em diversas regiões do Brasil, principalmente no semiárido, para produção de silagem. Contudo, forrageiras tropicais mais produtivas e adaptadas também têm sido utilizadas para ensilagem, como o sorgo biomassa e o capim-BRS capiaçu. A palma forrageira tem sido utilizada *in natura* nas dietas de ruminantes juntamente com silagens de gramíneas devido ao baixo teor de fibras. A ensilagem de palma forrageira raramente é utilizada devido ao elevado teor de umidade (acima de 850 g/kg de MS) (Monção et al., 2020b), o que pode contribuir negativamente na qualidade fermentativa da massa ensilada. Nessa pesquisa, a silagem de capim-BRS capiaçu com palma forrageira apresentou menor teor de MS, média de 175,8 g/kg de MS, o que é justificável pelo baixo teor de MS do capim-BRS capiaçu no momento da ensilagem (média de 226,38 g/kg de MS) (Tabela 1). No entanto, verificou-se que a forma de processamento da palma forrageira para finalidade de ensilagem possibilitou a formação de mucilagem (água não livre na célula) o que contribuiu para menores perdas de MS, principalmente efluentes. De acordo com Dubeux Jr. et al. (2021), na mucilagem da palma forrageira contém polímeros com cadeias de ácido D-galacturônico unidos por ligações β (1-4) a resíduos de L-ramnose R (1-2) (Trachtenberg e Mayer, 1981; Lee et al., 2003). Osuna-Martínez et al. (2014) sugeriram que o papel fisiológico da mucilagem da planta é regular o conteúdo de água celular durante uma seca prolongada e regular os fluxos de cálcio da planta.

A silagem de capim-BRS capiaçu apresentou maior quantidade de água livre, o que justifica o aumento nas perdas por efluentes e nitrogênio amoniacal e menor recuperação da matéria seca. O nitrogênio amoniacal, expresso em porcentagem do nitrogênio total, indica a quantidade de proteína degradada durante a fase de fermentação. Portanto, esse parâmetro é um dos mais importantes na determinação da qualidade do processo fermentativo da massa ensilada. Conforme McDonald et al. (1991), silagens mal preservadas apresentam teores de

amônia superiores a 10 %, sendo a amônia derivada do catabolismo de aminoácidos. Assim, houve tendência de maiores perdas nitrogenadas na silagem de capim-BRS capiaçu com palma forrageira, as maiores perdas podem ser justificadas pelo baixo teor de MS, média 175,8 g/kg.

A palma forrageira é uma cactácea rica em carboidratos não fibrosos e carboidratos solúveis em água (Dubeux Jr. et al., 2021) que são um substrato essencial para o crescimento e síntese de ácido láctico pelas bactérias homofermentativas. Esse ácido láctico, devido ao seu baixo pKa (3,86), é responsável pela redução rápida do pH da massa ensilada, o que inibe o crescimento de bactérias indesejáveis (i.e., Enterobactérias e Clostrídios; Kung) (Jr. t al., 2018). Isso é importante para a conservação dos nutrientes da massa ensilada. A silagem de sorgo biomassa com palma forrageira apresentou maior concentração de ácido láctico, possivelmente pela disponibilidade de substrato para síntese de ácido láctico (CNF 118,9 g/kg de MS no BRS 716) e menor atividade de água no meio (228,6 g/kg de MS). Na silagem de capim-BRS capiaçu com palma forrageira, a atividade água pode ter interferido na síntese de ácido láctico devido à maior disponibilidade de carboidratos solúveis.

Outro ácido importante no pós-abertura do silo é o acético, o qual é responsável por inibir o crescimento de fungos filamentosos, bolores e leveduras na silagem, contribuindo com maior estabilidade aeróbia da massa. A silagem de sorgo biomassa BRS 716 e a silagem de sorgo biomassa BRS 716 com palma forrageira apresentaram maiores concentrações de ácido acético (média de 2,38 g/kg de MS). Na silagem de sorgo biomassa BRS 716 com palma forrageira, esse ácido contribuiu para maior tempo de exposição aeróbia da silagem. Entretanto, após 96 de abertura do silo, a silagem de sorgo biomassa BRS 716 elevou a temperatura da massa ensilada, o que pode estar associado ao crescimento de enterobactérias e clostrídios que fermentam os nutrientes da silagem para crescimento e reprodução. Esse aumento na temperatura foi verificado precocemente na silagem de sorgo Volumax (72 horas pós-abertura do silo). Em geral, a quebra da estabilidade aeróbia das silagens foi verificada 108 horas após a abertura dos silos, quando a temperatura média das silagens atingiu 2 °C acima da temperatura ambiente, indicando possíveis perdas de matéria seca devido ao crescimento de bactérias indesejáveis na presença de oxigênio.

Foi verificado maior concentração de ácido butírico na silagem de sorgo Volumax (2,2 g/kg de MS) em decorrência do crescimento de bactérias do gênero *Clostridium*. A baixa concentração de carboidratos não fibrosos (média 88,49 g/kg de MS) pode ter interferido na

síntese do ácido láctico (41,52 g/kg de MS), e, conseqüentemente, não houve controle das bactérias *clostridium*. O teor de ácido butírico reflete a extensão da atividade clostridiana e está relacionado a maiores valores finais de pH. O ácido butírico (acima de 3g/kg de MS) e o etanol são indesejáveis na silagem porque podem ocasionar maiores perdas de MS e perdas de energia (Borreani et al., 2018). As silagens de sorgo biomassa BRS 716, silagem de capim-BRS capiaçu e silagem de capim-BRS capiaçu com palma apresentaram maiores concentrações de etanol. Já a silagem de sorgo biomassa BRS 716 com palma apresentou maiores teores de ácido propiônico (média de 4,83 g/kg de MS). Todavia, esse valor não é preocupante porque de acordo com Roth & Undersander (1995), a presença do ácido propiônico acima do limite estabelecido (5 g/kg de MS) significa a degradação do ácido láctico por bactérias butíricas. Conforme Filya et al. (2004), os ácidos acético e propiônico possuem ação fungicida, em elevadas concentrações promovem inibição do crescimento de leveduras e bolores.

Em relação à composição química, foram verificados maiores teores de cinzas na silagem de capim-BRS capiaçu com palma forrageira, provavelmente, pelo elevado teor de minerais (131 g/kg de MS) na palma forrageira, principalmente cálcio (Ca) (Dubeux Jr. et al., 2021). Em condições de restrição hídrica, a palma eleva os níveis de Ca por meio da mucilagem e produz substâncias com características lipídicas como ceras a fim de amenizar a perda de água para o meio ambiente. Essas substâncias são verificadas com o incremento nos teores de gordura bruta ou extrato etéreo, justificando os maiores valores nas silagens contendo palma forrageira. Na silagem de sorgo Volumax, devido à presença de panícula com grãos, rico em carboidratos não fibrosos, nitrogênio proteico e lipídios, observaram-se maiores valores de proteína bruta, extrato etéreo e nutrientes digestíveis totais.

A silagem de capim-BRS capiaçu apresentou maior teor de fibras (média de 669,1 g/kg de MS), o que é justificável pelo elevado porte dessa forragem. Monção et al. (2020), Jesus et al. (2021) e Ribas et al. (2021), ao avaliarem silagens de capim-BRS capiaçu também verificaram valores na ordem de 711,1 g/kg de MS; 704,5 g/kg de MS e 686,1 g/kg de MS, respectivamente. Contudo, são fibras com elevado potencial de digestibilidade. Na silagem mista de sorgo biomassa com palma forrageira, constataram-se menores teores de fibra em detergente neutro corrigido para cinzas e proteínas e maiores de nutrientes digestíveis totais. As silagens de capim-BRS capiaçu e capim-BRS capiaçu com palma forrageira apresentaram menores teores de nutrientes digestíveis totais devido ao maior teor de fibra em detergente ácido (média de 457,55 g/kg de MS) e fibra em detergente ácido indigestível.

A maior degradabilidade potencial da MS das silagens de sorgo Volumax e silagem mista de sorgo biomassa com palma forrageira é atribuída à elevada quantidade de carboidratos não fibrosos, principalmente carboidratos solúveis em água. Esses carboidratos aumentam a fração solúvel da MS, modificando a degradabilidade potencial da MS, uma vez que a fração b manteve-se constante entre as silagens (média de 51,75 %). A presença da palma forrageira na ensilagem do sorgo biomassa também aumentou a taxa de degradação da fração b e a degradabilidade efetiva da MS e da FDN.

4.5 Conclusão

A silagem mista de sorgo biomassa BRS 716 com palma forrageira apresentou menores perdas, bem como melhores concentrações de ácidos orgânicos voláteis desejáveis e valor nutricional.

4.6 Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pelo auxílio financeiro ao projeto (Termo de Outorga FAPEMIG/DAP nº. 39361572/2021); à Universidade Estadual de Montes Claros (Unimontes), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), e ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (INCT – Ciência Animal), pelo auxílio com bolsas / pesquisas, EMBRAPA-Milho e Sorgo e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código Financeiro 001.

4.7 Conflito de interesses

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

4.8. Referências

Agricultural and Food Research Council – AFRC 1993. Energy and protein requirements of ruminants. Wallingford: CAB International.

Almeida, L. G. F.; Parrella, R. A. C.; Simeone, M. L. F.; Ribeiro, P. C. O.; Santos, A. S.; Costa, A. S. V.; Guimarães, A. G. e Schaffert, R. E. 2019. Composition and growth of sorghum biomass genotypes for ethanol production. *Biomass and Bioenergy*, 122:343–348. doi.

10.1016/j.biombioe.2019.01.030

Bernardes, T. F. e Rêgo, A. C. 2014. Study on the practices of silage production and utilization on Brazilian dairy farms. *Journal of Dairy Science*, 97 :1852–1861. 10.3168 / jds.2013-7181

Borreani, G.; Tabacco, E.; Schmidt, R. J.; Holmes, B. J. e Muck, R. E. 2018. Silage review: Factors affecting dry matter and quality losses in silages. *Journal of Dairy Science*, 101:3952–3979. doi.org/10.3168/jds.2017-13909

Casali, A. O.; Detmann, E.; Valadares Filho, S. C.; Pereira, J. C.; Cunha, M.; Detmann, K. S. C. e Paulino, M. F. 2009. Estimation of fibrous compounds contents in ruminant feeds with bags made from different textiles. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38:130-138.

Daniel, J. L. P.; Bernardes, T. F.; Jobim, C. C.; Schmidt, P. e Nussio, L. G. 2019. Produção e utilização de forragens em areas tropicais com foco no Brasil. *Ciência da Forragem*.

Detmann, E.; Silva, L. F. C.; Rocha, G. C.; Palma, M. N. N. e Rodrigues, J. P. P. 2021. Métodos para análise de alimentos. 2ª Edição, Visconde do Rio Branco, MG: Suprema, 350p.

Dubeux Jr., J. C. B.; Santos, M. V. F.; Cunha, M. V.; Santos, D. C.; Souza, R. T. A.; Mello, A. C. L e Souza, T. C. 2021. Cactus (*Opuntia* and *Nopalea*) nutritive value: A review. *Animal Feed Science and Technology*, 275:1-11. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2021.114890>

Filya, I.; Sucu, E. e Karabulut, A. 2004. The effect of *Propionibacterium acidipropionici*, with or without *Lactobacillus plantarum*, on the fermentation and aerobic stability of wheat, sorghum and maize silages. *Journal of Applied Microbiology*, 97:818–826. Doi: 10.1111/j.1365-2672.2004.02367.x

Jesus, M. A.; Monção, F. P.; Rigueira, J. P. S.; Rocha Júnior, V. R.; Gomes, V. M.; Delvaux Junior, N. A.; Pires, D. A.; Sales, E. C. J.; Carvalho, C. C. S. e Santos, A. S. 2021. Effects of microbial inoculant and fibrolytic enzymes on fermentation quality and nutritional value of BRS capiaçu grass silage. *Semina: Ciências Agrárias*, 42:1837-1852. 10.5433/1679-0359.2021v42n3Supl1p1837

Jobim, C. C.; Nussio, L. G.; Reis, R. A. e Schmidt, P. 2007. Avanços metodológicos na avaliação da qualidade da forragem conservada. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 36:101-119.

dx.doi.org/10.1590/S1516-35982007001000013

Köppen, W. 1948. Climatologia: Con un estudio de los climas de la tierra. Fondo de Cultura Económica. México.

Kung Jr., L.; Shaver, R. D.; Grant, R. J. e Schmidt, R. J. 2018. Silage review: Interpretation of chemical, microbial, and organoleptic components of silages. *Journal of Dairy Science*, 101:4020–4033. doi.org/10.3168/jds.2017-13909

Lee, E. H.; Kim, H. J.; Song, Y. S.; Jin, C.; Lee, K. T.; Cho, J. e Lee, Y. S. 2003. Constituents of the Stems and Fruits of *Opuntia ficus-indica* var. Saboten. *Arch Pharm Res*, 26:1018-1023. 10.1007/BF02994752

McCary, C. L.; Vyas, D.; Faciola, A. P. e Ferraretto, L. F. 2020. Graduate Student Literature Review: Current perspectives on whole-plant sorghum silage production and utilization by lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 103:5783–5790. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-18122>

McDonald, P.; Henderson, A. R e Heron, S. J. E. 1991. *The Biochemistry of Silage*. Chichester: J. Wiley.

Monção, F. P.; Costa, M. A. M. S.; Rigueira, J. P. S.; Moura, M. M. A.; Rocha Júnior, V. R.; Gomes, V. M.; Leal, D. B.; Maranhão, C. M. A.; Albuquerque, C. J. B. e Chamone, J. M. A. 2019a. Yield and nutritional value of BRS Capiaçú grass at different regrowth ages. *Semina: Ciências Agrárias*, 40:2045-2056. b. DOI: 10.5433/1679-0359.2019v40n5p2045

Monção, F. P.; Costa, M. A. M. S.; Rigueira, J. P. S.; Sales, 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. e Rocha Júnior, V. R. 2019b. Productivity and nutritional value of BRS capiaçu grass (*Pennisetum purpureum*) managed at four regrowth ages in a semiarid region. *Tropical Animal Health and Production*, 52:235–241. a. <https://doi.org/10.1007/s11250-019-02012-y>

Monção, F. P.; Rocha Júnior, V. R.; Silva, J. T.; Jesus, N. G.; Marques, O. F. C.; Rigueira, J. P. S.; Sales, E. C. J.; Silva Júnior, A. A. G.; Alves, D. D.; Carvalho, C. C. C.; Gomes, V. M. e Leal, D. B. 2020a. Nutritional value of BRS capiaçu grass (*Pennisetum purpureum*) silage associated with cactus pear. *Iranian Journal of Applied Animal Science*, 10:25-29.

20.1001.1.2251628.2020.10.1.4.9

Moran, J. P.; Weinberg, Z. G.; Ashbell, G.; Hen, Y. e Owen, T. R. 1996. Acomparision of two methods for the the evaluation of the aerobic stability of whole crop wheat silage. In: International Silage Conference, 11., Aberystwyth. Proceedings... Aberystwyth: University of Wales Aberystwyth, p.162-163.

National Research Council – International [NRC] 2001. Nutrient requirements of dairy cattle, 7th rev. ed. National Academies Press, Washington, DC, USA.

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

Noel, R. J. e Hambleton, L. G. 1976. Collaborative study of a semiautomated method for determination of crude protein in animal feeds. *Journal AOAC Int.* 59:134-140.

Osuna-Martínez, U.; Reyes-Esparza, J.; Rodríguez-Fragoso, L. 2014. Cactus (*Opuntia ficus-indica*): A Review on its Antioxidants Properties and Potential Pharmacological Use in Chronic Diseases. *Natural Products Chemistry & Research*, 2:1000153. 10.4172/2329-6836.1000153

Qu, H.; Liu, XB.; Dong, C. F.; Lu, X. Y e Shen, Y. X. 2014. Field performance and nutritive value of sweet sorghum in eastern China. *Field Crops Research*, 157:84-88. doi:10.1016/j.fcr.2013.12.010.

Queiroz, F. E.; Rocha Júnior, V. R.; Monção, F. P.; Rigueira, J. P. S.; Silva, F. V.; Alencar, A. M. S.; Cordeiro, M. W. S.; Gomes, V. M.; Carvalho, C. C. S. e Costa, M. D. 2021. Effect of replacement of forage sorghum silage with biomass sorghum silage in diets for dairy heifers. *Semina. Ciências agrárias (online)*, 43:121-140. 10.5433/1679-0359.2022v43n1p121

Ramos, J. C. P.; Rocha Júnior, V. R.; Monção, F. P.; Parrela, R. A. C.; Caxito, A. M.; Cordeiro, M. W. S.; HORA, F. F. e Pires, D. A. A. 2022. Effect of replacing forage sorghum silage with biomass sorghum silage in diets for F1 Holstein × Zebu lactating cows. *Tropical animal health and production*, 53:99. <https://doi.org/10.1007/s11250-020-02503-3>

Ribas, W. F. G.; Monção, F. P.; Rocha, V. R.; Maranhão, C. M. A.; Ferreira, H. C.; Santos, A. S.;

Gomes, V. M. e Rigueira, J. P. S. 2021. Effect of wilting time and enzymatic-bacterial inoculant on the fermentative profile, aerobic stability, and nutritional value of BRS capiaçu grass silage. *Revista brasileira de zootecnia*, 50:20200207.

Roth, G. e Undersander, D. 1995. Corn silage production, management, and feeding, *Plant Science*.

Pryce, J. D. 1969. A modification of Barker-Summerson method for the determination of lactic acid. *Analyst*, 94:1151-1152.

SAS Institute 2008. *SAS/STAT 9.2 User's Guide*. SAS Institute, Inc. Cary, NC, USA.

Souza, A. I. M., Góes, G. B.; Prudêncio, R. M.; Andrade, A. G. M.; Borges, D. M. e Fontenele, R. M. 2021. Avaliação do desenvolvimento do sorgo (*Sorghum Bicolor* L. Moench) em função de diferentes adubos e densidades de plantas aos 60 e 90 dias de emergência. *Brazilian Journal of Development*, 7:29671-29677. 10.34117/bjdv7n3-606

Souza, I. D. A. S.; Rocha Júnior, V. R.; Monção, F. P.; Parrela, R. A. C.; Cordeiro, M. W. S.; Carvalho, C. C. S.; Rigueira, J. P. S.; Silva, F. V. e Delvaux Junior, N. A. 2021. Yield and nutritional value of biomass sorghum (BRS 716) managed in different row spacing and maturity at harvest in the semiarid region of Brazil. *Semina. Ciências agrárias (online)*, 42:3463-3484. 10.5433/1679-0359.2021v42n6p3463

Trachtenberg, S.; Mayer, A. M. Composition and properties of *Opuntia ficus-indica* mucilage. (1981). *Phytochemistry*, 20:2665-2668. [https://doi.org/10.1016/0031-9422\(81\)85263-6](https://doi.org/10.1016/0031-9422(81)85263-6)

4.9 TABELAS E FIGURAS

Tabela 1. Composição química das forragens utilizadas para ensilagem

Item, g/kg de MS	Volumax ¹	BRS-716	BRS capiaçu	Palma forrageira
Matéria Seca	341,08	279,66	226,38	90,90
Cinzas	77,00	89,00	107,80	131,00
Proteína Bruta	84,68	55,1	77,79	51,60
Extrato Etéreo	24,00	22,00	11,00	19,30
Fibra em detergente neutro	726,00	729,02	724,60	290,08
FDNcp	704,50	715,17	713,80	271,39
FDNi	301,10	277,60	476,80	253,50
Fibra em detergente ácido	423,41	482,79	529,40	184,2
Lignina	53,78	72,03	114,12	22,50
Carboidratos Totais	814,32	800,49	803,41	798,1
Carboidratos não fibrosos	88,40	118,9	89,61	508,1

FDNcp - Fibra em detergente neutro corrigida para cinzas e proteína bruta; FDNi - Fibra em detergente neutro indigestível. ¹ Sorgo forrageiro Volumax colhido com 110 dias pós-germinação; Sorgo biomassa BRS 716 (160 dias); Capim-BRS capiaçu (110 dias de rebrota); Palma forrageira variedade *Opuntia ficus indica* Mill (gigante), com idade de 765 dias.

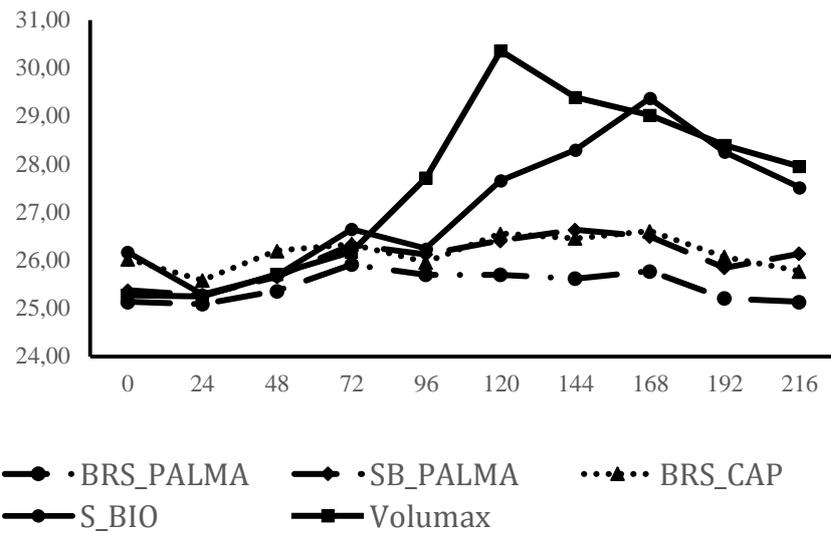


Figure 1. Valores médios da temperatura durante a estabilidade aeróbia de silagens de sorgo Volumax e biomassa BRS 716, capim-BRS capiaçu, associados ou não à palma forrageira em diferentes tempos após a abertura (interação dos tratamentos e tempos após a abertura: $P < 0,01$).

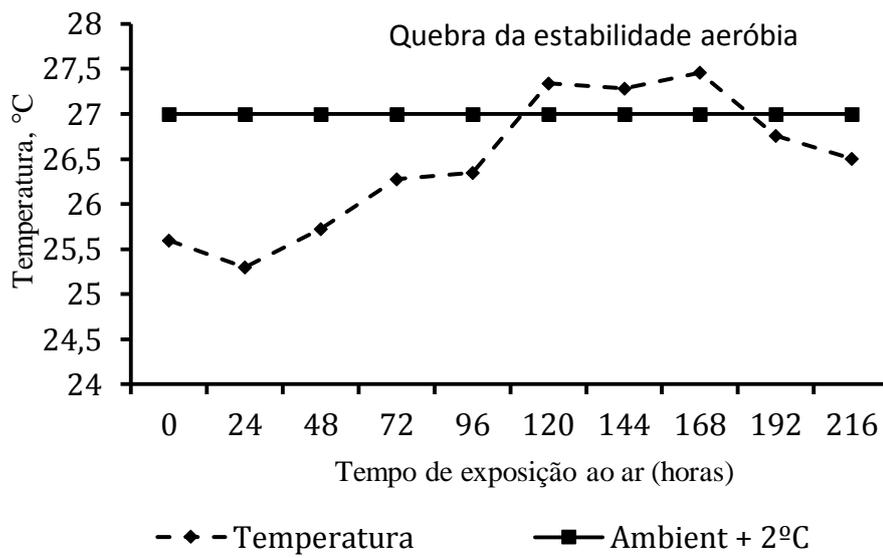


Figure 2. Perfil da temperatura média registrada das silagens de sorgo Volumax e biomassa BRS 716, capim-BRS capiaçu, associados ou não à palma forrageira ao longo do ensaio de estabilidade aeróbia durante 216 horas.

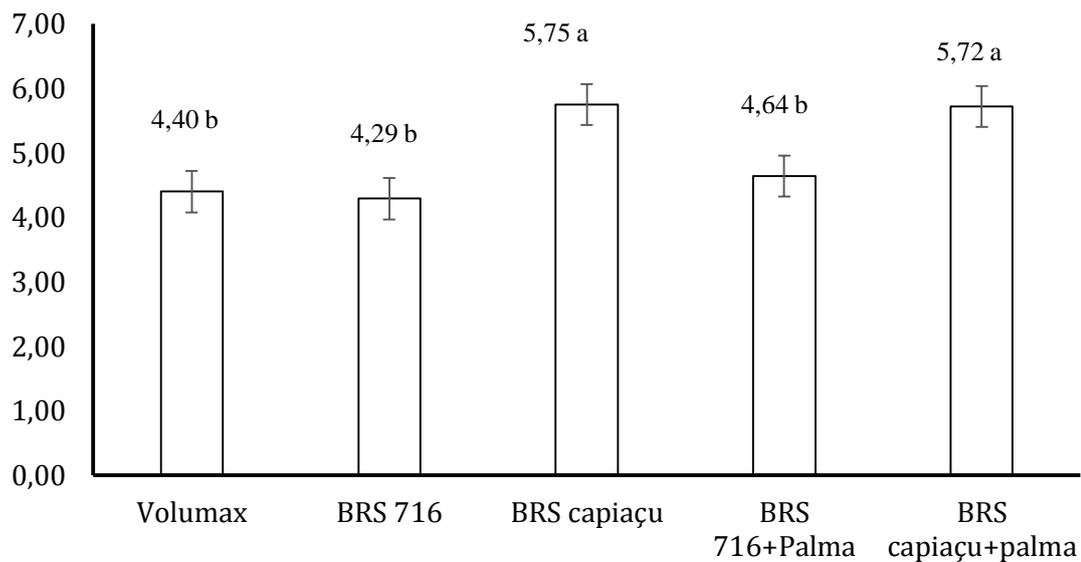


Figura 3. Valores médios de pH após 216 horas de exposição aeróbia das silagens de sorgo Volumax e biomassa BRS 716, capim-BRS capiaçu, associados ou não à palma forrageira.

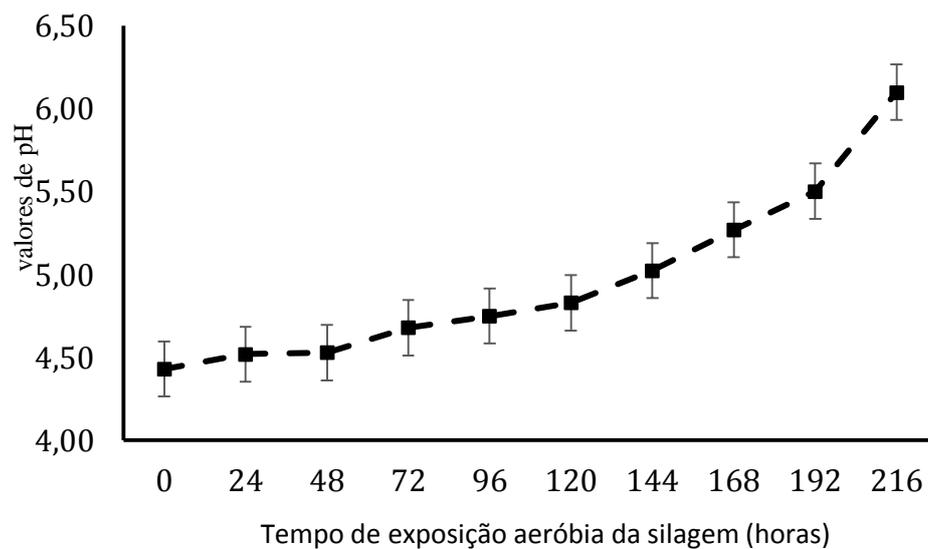


Figura 4. Valores de pH das silagens de sorgo Volumax e biomassa BRS 716, capim-BRS capiaçu, associados ou não à palma forrageira registrada em diferentes tempos pós- abertura do silo ($\hat{Y} = 4,0+0,162*X$; $R^2=0,86$).

Tabela 2. Perfil fermentativo de silagens de sorgo Volumax e biomassa BRS 716, capim-BRS capiaçu, associados ou não à palma forrageira

Item, g/kg de MS	Tratamentos ¹					EPM	p-valor
	Volumax	BRS 716	BRS capiaçu	BRS 716+Palma	BRS capiaçu+ palma		
Perdas por gases	61,0 c	50,1 c	108,3 b	54,8 c	123,7 a	8,80	<0,01
Perdas por efluente, kg/ t de MV	22,38 c	30,13 c	78,70 a	48,10 b	56,79 b	4,16	<0,01
Recuperação da matéria seca	980,0a	982,9 a	957,9 b	953,3 c	935,2 c	6,00	0,01
Ácido succínico	2,86 b	7,58 a	0,74 c	2,23 b	0,20 c	0,24	<0,01
Ácido láctico	41,52c	65,90 b	60,26 b	82,98 a	59,42 b	3,96	<0,01
Ácido acético	1,81 b	2,29 a	0,61 c	2,48 a	0,32 c	0,13	<0,01
Ácido butírico	2,22 a	0,64 c	1,40 b	0,96 c	1,34 b	0,05	<0,01
Ácido propiônico	3,67 c	4,54 b	1,18 d	4,83 a	1,01 d	0,21	<0,01
Etanol	0,58 b	1,11 a	1,59 a	0,73 b	1,43 a	0,13	<0,01

¹ Silagem de sorgo Volumax; silagem de sorgo biomassa BRS 716 (160 dias); silagem de capim-BRS capiaçu (110 dias); silagem de sorgo biomassa com palma forrageira na proporção 60:40 com base na matéria natural; silagem de capim-BRS capiaçu com palma forrageira na proporção 60:40 com base na matéria natural. MS – matéria seca; MV – massa verde; EPM- erro padrão da média; P-probabilidade; Médias seguidas de mesmas letras na linha não diferem entre si pelo teste de Scott-knott (P>0,05).

Tabela 3. Composição química de silagens de sorgo Volumax e biomassa BRS 716, capim-BRS capiaçu, associados ou não à palma forrageira

Item, g/kg de MS	Tratamentos ¹					EPM	p-valor
	Volumax	BRS 716	BRS capiaçu	BRS 716+Palma	BRS capiaçu+palma		
<i>Composição química</i>							
Matéria seca	327,9 a	341,0 a	230,5 b	228,6 b	175,8 c	4,9	<0,01
N-NH ₃ , % NT	9,12b	6,96 c	10,26 a	7,76 c	11,82 a	0,85	<0,01
Cinzas	72,3 c	68,2 c	111,0 b	108,7 b	149,7 a	5,0	< 0,01
Proteína bruta	83,2 a	51,7 b	55,7 b	60,8 b	51,6 b	5,1	< 0,01
Extrato etéreo	32,4 a	16,3 c	22,5 b	28,4 a	36,0 a	2,0	< 0,01
FDN	538,7 c	593,6 b	669,1 a	507,1 d	614,0 b	10,5	< 0,01
FDNcp	474,2 d	543,4 b	596,5 a	433,1 e	506,1 c	9,1	< 0,01
FDNpd	446,4d	515,6b	570,4a	406,7e	480,33c	9,7	<0,01
FDA	355,6 c	408,0 b	466,8 a	349,7 c	448,3 a	11,1	< 0,01
Lignina	80,4	76,8	78,8	83,1	84,1	6,0	0,91
Carboidratos totais	811,9 b	863,7 a	810,6 b	794,4 b	770,1 c	6,6	< 0,01
Carboidratos não fibrosos	273,1 a	270,1 a	141,4 b	287,3 a	156,1 b	10,4	< 0,01
Nutrientes digestíveis totais	541,8 a	496,3 b	449,0 c	550,6 a	467,9 c	7,4	< 0,01
<i>Fração indigestível</i>							
Matéria seca	368,4	393,88	367,29	370,67	355,03	14,6	0,45
FDN	277,95	278,80	261,56	263,77	257,63	19,2	0,90
FDA	200,21b	205,75b	238,59a	183,89b	178,59b	13,6	0,03

¹ Silagem de sorgo Volumax; silagem de sorgo biomassa BRS 716 (160 dias); silagem de capim-BRS capiaçu (110 dias); silagem de sorgo biomassa com palma forrageira na proporção 60:40 com base na matéria natural; silagem de capim-BRS capiaçu com palma forrageira na proporção 60:40 com base na matéria natural. FDN- Fibra detergente neutro; FDNcp- Fibra detergente neutro corrigidas para cinzas e proteínas; FDNpd- Fibra detergente neutro

potencialmente digestível; FDA- Fibra detergente ácido; EPM- erro padrão da média; P- probabilidade; Médias seguidas de mesmas letras na linha não diferem entre si pelo teste de Scott-knott ($P>0,05$).

Tabela 4. Cinética ruminal da matéria seca e fração fibrosa de silagens de sorgo Volumax e biomassa BRS 716, capim-BRS capiaçu, associados ou não à palma forrageira

Item (%)	Tratamentos ¹					EPM	p-valor
			BRS	BRS			
	Volumax	BRS 716	BRS capiaçu	716+Palma	BRS capiaçu+ palma		
<i>Matéria seca</i>							
Fração a	26,00 a	19,38b	18,37b	24,11a	19,69b	1,02	<0,01
Fração b	49,46	53,07	51,31	52,12	52,79	1,18	0,24
Taxa de degradação c, %/h	1,00 b	1,80 b	1,60 b	3,60 a	3,00 a	<0,01	<0,01
Degradabilidade potencial	75,46 a	72,46 b	69,69b	76,22 a	72,48b	0,84	<0,01
Degradabilidade efetiva, k= 5%/h	35,15b	34,25b	30,92b	44,57a	38,31b	2,15	0,01
<i>Fibra em detergente neutro</i>							
Fração Bp	51,28	46,38	46,00	51,23	53,93	2,45	0,14
Taxa de degradação, %/h	2,00	2,60	2,00	3,60	2,60	0,01	0,16
Degradabilidade efetiva, k=5%/h	17,01 b	21,13 a	16,62 b	23,80 a	23,45 a	1,95	0,01

¹ Silagem de sorgo Volumax; silagem de sorgo biomassa BRS 716 (160 dias); silagem de capim-BRS capiaçu (110 dias); silagem de sorgo biomassa com palma forrageira na proporção 60:40 com base na matéria natural; silagem de capim-BRS capiaçu com palma forrageira na proporção 60:40 com base na matéria natural. EPM- erro padrão da média; P-probabilidade; Médias seguidas de mesmas letras na linha não diferem entre si pelo teste de Scott-knott (P>0,05).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Todas as culturas utilizadas no estudo apresentam grande potencial para alimentação de ruminantes no semiárido brasileiro, por serem adaptadas à região, apresentarem alta produtividade e bom valor nutricional.

O presente estudo demonstra o potencial de utilização da palma forrageira ensilada juntamente com sorgo biomassa BRS 716, pois fornece substrato para bactérias homofermentativas produzirem o ácido lático, favorecendo a queda do pH e conservação da massa ensilada. Além de proporcionar menores perdas nutritivas e maior recuperação da matéria seca. A maior produção de ácidos desejáveis, como o lático e acético, melhorou o perfil de ácidos orgânicos da massa ensilada e proporcionou estabilidade aeróbia.