



Programa de Pós-Graduação em Zootecnia

**SILAGEM DE CAPIM-BRS CAPIAÇU E MILHO
MOÍDO ASSOCIADO COM DIFERENTES
PROPORÇÕES DE PALMA FORRAGEIRA**

ANSELMO BATISTA ANTUNES

ANSELMO BATISTA ANTUNES

**SILAGEM DE CAPIM-BRS CAPIAÇU E MILHO MOÍDO ASSOCIADO COM DIFERENTES
PROPORÇÕES DE PALMA FORRAGEIRA**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Montes Claros, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, área de concentração em Produção Animal, para obtenção do título de Mestre.

Orientador

Prof. Dr. Flávio Pinto Monção

Janaúba

2025

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

Antunes, Anselmo Batista

A627s Silagem de capim-BRS capiaçu e milho moído associado
com diferentes proporções de palma forrageira [manuscrito] /
Anselmo Batista Antunes – 2025.
58 p.

Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em
Zootecnia, Universidade Estadual de Montes Claros –
Janaúba, 2025.
Orientador: Prof. D. Sc. Flávio Pinto Monção.

1. Forragem. 2. Milho. 3. Palma forrageira. 4. Silagem. I.
Monção, Flávio Pinto. II. Universidade Estadual de Montes
Claros. III. Título.

CDD. 636.08552

Catálogo: Joyce Aparecida Rodrigues de Castro Bibliotecária CRB6/2445

Ata de Reunião

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Nome do Acadêmico: **Anselmo Batista Antunes**

CPF do Acadêmico: 102.844.646-27

Programa de Pós-graduação em Zootecnia

Nível: Mestrado

Departamento: Ciências Agrárias

Título da dissertação: “**Silagem de capim-BRS capiaçu e milho moído associado com diferentes proporções de palma forrageira**”

Após declarada aberta a sessão, o Presidente passa a palavra aos examinadores para as devidas arguições que se desenvolvem nos termos regimentais. Em seguida, a Comissão Julgadora proclama o resultado:

Membros da Banca Examinadora:

Dr. Flávio Pinto Monção/ Presidente/ UNIMONTES

Dr. Vicente Ribeiro Rocha Júnior/ Membro Interno/ UNIMONTES

Dr. João Paulo Sampaio Rigueira/Membro Interno/ UNIMONTES

Dr. Tiago Alves Corrêa Carvalho da Silva/ Membro Externo/ University of New England

Resultado: Aprovado

- Nota: 9,0

- Conceito (A = 9–10/ B = 7,5-8,9/ C = 6-7,4/ D = 0-5,9): A

APRECIACÃO SOBRE A DISSERTAÇÃO

Aos **8 dias do mês de Julho de 2025**, às **18:00h**, por meio da plataforma digital *Google Meet*, realizou-se a defesa da dissertação do acadêmico **Anselmo Batista Antunes**, matriculado no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia. O acadêmico foi considerado **APROVADO** pelos membros acima nomeados. O acadêmico tem prazo máximo de 90 dias para as correções e entrega da versão definitiva, conforme as

normas definidas pelo PPGZ e pela Unimontes.

Eu, **Flávio Pinto Monção**, lavrei a presente Ata que segue por mim assinada e pelos demais membros da Banca Examinadora.

O curso é reconhecido e Homologado pelo CNE (Portaria MEC N° 1.077- DOU de 13/09/2012 - Parecer CES/CNE 277/2007, 17/01/2008) Renovação do Reconhecimento: (RESOLUÇÃO SEDECTS N° 15, de 14 DE MARÇO 2019, D.O.MG de 26/03/2019).



Documento assinado eletronicamente por **Flávio Pinto Monção, Professor(a)**, em 10/07/2025, às 08:50, 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, Coordenador (a)**, em 10/07/2025, às 18:36, 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 **Vicente Ribeiro Rocha Junior, Professor(a)**, em 05/08/2025, às 10:20, 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 **Tiago Alves Correa Carvalho da Silva, Usuário Externo**, em 13/08/2025, às 01:25, 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 **117832698** e o código CRC **37DE6E6F**.

Referência: Processo nº 2310.01.0014174/2025-23

SEI nº 117832698

SUMÁRIO

NORMAS DA REVISTA	6
RESUMO GERAL	7
GENERAL ABSTRACT	8
1. INTRODUÇÃO GERAL	9
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
2.1. O CAPIM-ELEFANTE	11
2.2. SILAGEM DE CAPIM -BRS CAPIAÇU.....	12
2.3. PALMA FORRAGEIRA.....	13
2.4. PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE SILAGEM.....	16
2.5. USO DE ADITIVO SEQUESTRANTE DE UMIDADE NA PRODUÇÃO DE SILAGEM	20
3. REFERÊNCIAS	21
4. CAPÍTULO 1.....	33
RESUMO	33
ABSTRACT	33
4.1 INTRODUÇÃO	34
4.2 MATERIAL E MÉTODOS	36
4.3 RESULTADOS	41
4.4 DISCUSSÃO	48
4.5 CONCLUSÃO	52
4.6 REFERÊNCIAS	53
5.0 CONSIDERAÇÕES FINAIS	58

NORMAS DA REVISTA CIENTÍFICA

Esta dissertação segue as premissas básicas da Revista Brasileira de Zootecnia (RBZ). Link: <https://rbz.org.br/>. Exceto as figuras.

RESUMO GERAL

ANTUNES, ANSELMO BATISTA. **Silagem de capim-BRS capiaçu e milho moído associada com diferentes proporções de palma forrageira**. 2025. 58 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba, Minas Gerais, Brasil.

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 e poder tampão sejam adequados. O capim-BRS capiaçu e a palma forrageiras são plantas adaptadas ao clima semiárido e apresentam potencial para produção de silagens. Contudo, existem lacunas no conhecimento quanto a qualidade da silagem produzida. Assim, objetivou-se avaliar diferentes proporções de palma forrageira na ensilagem com o capim-BRS capiaçu associado com 10% de inclusão de milho grão moído sobre a estabilidade aeróbia, perfil fermentativo, composição química e digestibilidade. Os tratamentos consistiram na inclusão de palma forrageira (*Opuntia* spp.) em níveis crescentes de 0, 15, 30, 45 e 60% da matéria natural na ensilagem com o capim-BRS capiaçu com 10% de milho grão moído. Ainda, utilizou-se a silagem controle composta por capim-BRS capiaçu sem milho moído. Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado com seis tratamentos e oito repetições. O capim-BRS capiaçu foi colhido aos 102 dias de rebrotação. Para ensilagem, foram utilizados silos experimentais de PVC, de pesos conhecidos, com 50 cm de comprimento e 10cm de diâmetro.

Palavras-chave: composição química, conservação, digestibilidade, forragem e semiárido.

GENERAL ABSTRACT

Forage conservation emerges as a feeding strategy in ruminant production systems when there is a feed deficit. The ensilage technique allows the use of various forages, as long as the dry matter content, water-soluble carbohydrates and buffering power are adequate. BRS capiaçu grass and cactus pear are plants adapted to the semiarid climate and have potential for silage production. However, there are gaps in knowledge regarding the quality of the silage produced. Thus, the objective of this study was to evaluate different proportions of cactus pear in ensilage with BRS capiaçu grass associated with 10% inclusion of ground corn grain on aerobic stability, fermentation profile, chemical composition and digestibility. The treatments consisted of the inclusion of cactus pear (*Opuntia* spp.) at increasing levels of 0, 15, 30, 45 and 60% of the natural matter in ensilage with BRS capiaçu grass and 10% ground corn grain. Furthermore, control silage composed of BRS capiaçu grass without ground corn was used. A completely randomized design with six treatments and eight replicates was used. BRS capiaçu grass was harvested at 102 days of regrowth. For ensiling, experimental PVC silos of known weights, 50 cm long and 10 cm in diameter were used.

Keywords: chemical composition, conservation, digestibility, forage and semiarid region.

1. INTRODUÇÃO GERAL

As condições climáticas de grande parte do Brasil são caracterizadas por dois períodos distintos, estação das águas e estação das secas, o que modificam a disponibilidade e qualidade de forragem. Isso porque o período das águas é marcado pela elevada umidade e temperatura, o que favorece à abundante produção de forragens com alto valor nutritivo (Gurgel et al., 2017), fato que ocorre inversamente no período seco. Considerando o acúmulo de massa seca de forragem anual entre 12 e 18 toneladas por hectare (*Urochloa* e *Megathyrsus*), aproximadamente 80% do acúmulo ocorre na estação chuvosa (Castro LM et al., 2013; Barbero RP et al., 2014). Para diminuir os efeitos causados pela sazonalidade, o excedente da produção de forragens no período das águas pode ser utilizado na alimentação animal no período seco, através do emprego de técnicas de conservação como a ensilagem (Paula et al., 2020; Monção et al., 2019).

Entre as gramíneas forrageiras tropicais, o capim-elefante (*Pennisetum purpureum*) cultivar BRS capiaçu tem se destacado por apresentar características como a alta produção de forragem por unidade de área e pelo equilíbrio nutritivo (Ribas et al., 2021; Monção et al., 2024), sendo, portanto, muito utilizado para a produção de silagem. Entretanto, o baixo teor de matéria seca no momento ideal do corte (16,4 a 19,7 % de MS; Pereira et al., 2016), além do baixo teor de carboidratos solúveis (137 g kg⁻¹ MS; Fernandes et al., 2021) e da elevada capacidade tampão apresentados por essa forrageira pode comprometer a qualidade da silagem (Ribas et al., 2021; Silva et al., 2021).

Estudos têm sido feitos com o objetivo de verificar alternativas para aumentar o teor de matéria seca e o aporte de carboidratos solúveis no material a ser ensilado através do uso de aditivos, que proporcionam a silagem de melhor qualidade (Paula et al., 2020; Silva et al., 2021). Sabe-se que estes reduzem os riscos do processo de ensilagem e melhoram o valor nutritivo da silagem. Um bom aditivo para a ensilagem de gramíneas tropicais deve apresentar alto teor de matéria seca, ótima capacidade de absorção de água, elevado valor nutritivo, boa aceitabilidade pelo animal e alto teor de carboidratos solúveis, além de fácil manipulação e boa disponibilidade no mercado (Bergamaschine et al., 2006; Muck et al., 2018). Tais aditivos limitam a ação de bactérias

do gênero *Clostridium* e podem elevar o teor de açúcares na massa ensilada, facilitando o estabelecimento das bactérias ácido lácticas. Através da redução do teor de água na forragem, ocorre a concentração dos carboidratos solúveis, diminuição de fermentações clostrídicas, diminuição efetiva do pH e da produção de efluentes. Esse processo pode ser favorecido pela aplicação de sequestrantes de umidade, o que é prática usual no Brasil, principalmente na ensilagem de gramíneas tropicais. Além de corrigir a matéria seca (MS), alguns materiais fornecem carboidratos solúveis e estimulam a fermentação.

Quando se trata de carboidratos solúveis em água, a palma forrageira se destaca como fonte desses nutrientes (Marques et al., 2017; Dubeux Jr. et al., 2021; Fernandes et al., 2023; Alencar et al., 2023). Além de ser uma planta adaptada às condições edafoclimáticas da região semiárida, com elevada produtividade e capacidade de rebrotação, a palma forrageira é rica em água, carboidratos não fibrosos e sais minerais, o que justifica o seu uso nos sistemas de produção animal (Nobel, 2001; Cavalcante et al., 2014; Moraes et al., 2019). 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 e fontes de sequestrante de umidade. Com isso, há necessidade de entender melhor qual é a proporção de mistura do capim-BRS capiaçu com palma forrageira no momento da ensilagem. Hipotetiza-se que há um nível ideal de inclusão desses ingredientes associados com milho moído como sequestrante de umidade em que proporcione adequada fermentação no silo e bom valor nutricional da silagem produzida.

Sendo assim, objetivou-se avaliar a proporção de inclusão da palma forrageira na ensilagem com o capim-BRS capiaçu com 10% de milho moído, sobre o perfil fermentativo e valor nutricional da silagem produzida.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. O CAPIM-ELEFANTE

O capim-elefante *Cenchrus purpureus* (Schumacher) 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 sua elevada produção de matéria seca (MS) (20 a 70 t/ha/ano), bom valor nutritivo, quando colhido com nível de maturação adequado e resistir a condições climáticas desfavoráveis, como seca e frio (Queiroz Filho et al., 2000).

Entretanto, sua alta produtividade na estação chuvosa e a redução do crescimento na época da seca podem resultar em grandes variações nas características morfológicas e no valor nutricional da planta (O' Rourke, 1984). Devido à alta capacidade produtiva, ao bom valor nutricional e à versatilidade de uso na forma de corte, pastejo e silagem, o capim-elefante configura-se como boa opção de volumoso para a nutrição de ruminantes no Brasil. É uma forrageira que apresenta um alto potencial para produção de matéria seca e de grande eficiência fotossintética, sendo essas características típicas das gramíneas tropicais (Martins et al., 2020).

De acordo com Pereira et al. (2021), observa-se na cultura do capim-elefante uma grande variabilidade genética. No entanto, é necessário que haja a seleção de materiais adaptados a diferentes ecossistemas existentes no Brasil. É possível a obtenção de híbridos de capim-elefante com desempenho produtivo superior à de seus

genitores (Menezes et al., 2016). Pereira (2001) afirma que a hibridação em capim-elefante consiste na melhor maneira de se obter clones superiores, sendo que a escolha dos genitores deve basear-se na complementariedade alélica e na divergência genética.

O cultivar BRS Capiáu foi desenvolvido pelo programa de melhoramento de capim-elefante da Embrapa Gado de Leite. Tem como principais características a floração tardia; o porte alto; os aglomerados verticais, as folhas com lâminas largas, longas e verdes; a bainha de folha verde amarelada e; o caule com diâmetro espesso e os entrenós amarelados, além da ausência de joçal (pêlos), touceiras de formato ereto, nervura central branca, colmos grossos, alta densidade de perfilhos basais e boa resistência ao tombamento (Pereira et al., 2016; Pereira et al., 2017).

A característica de alto rendimento e tolerância 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 Capiáu supera o do milho e o da cana-de-açúcar, atingindo média de 50 t/ha/ano de matéria seca. Segundo Monção et al. (2019), a produção de matéria seca da cultivar BRS Capiáu foi de 72 t/ha/ano no semiárido mineiro. 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.

2.2. SILAGEM DE CAPIM BRS CAPIÁU

A técnica de ensilagem corresponde ao armazenamento da forragem em um ambiente anaeróbico, possui como base a conservação por acidificação do material ensilado, ocorre a fermentação por meio de bactérias produtoras de ácido lático que fazem a conversão dos carboidratos solúveis para ácidos orgânicos, viabilizando a redução do pH sendo um parâmetro importante a ser mensurado, pois inibe a atuação de microrganismos do gênero *Clostridium* considerados prejudiciais ao processo (Neumann et al., 2010; Macêdo et al., 2019). Esse processo tem o intuito de garantir a manutenção da qualidade ou as características do alimento com mínimas perdas de matéria seca e energia no decorrer de sua preservação (Silva, 2009).

Uma das características das forrageiras de clima tropical é o decréscimo do valor nutritivo de acordo a maturação fisiológica devido o avançar da idade, e uma das

técnicas adotadas para manejo é a ensilagem para melhor conservação do seu valor nutritivo (Tosi et al., 1995).

De acordo com Pereira et al. (2016), para a produção de silagem do capim-BRS capiaçu, recomenda-se os cortes próximo a 90-110 dias de idade de rebrotação, quando as plantas atingirem altura média de 3,5-4,0 m. A colheita neste estágio permite melhor relação entre produção de silagem e composição química.

Pereira et al. (2017) avaliaram o melhor momento para ensilagem do BRS Capiacu e recomendaram a idade de corte de 90 a 110 dias de rebrotação. Os autores 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 na região semiárida. 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 %. Ribas et al. 2021, avaliando os efeitos dos tempos de murcha e da aplicação de inoculante enzimático-bacteriano sobre o perfil fermentativo e as características nutricionais da silagem de capim BRS capiaçu, relatam o murchamento leve por até 30 h e a aplicação de um inoculante enzimático-bacteriano melhoram o perfil fermentativo e a composição química e reduzem as perdas de matéria seca da silagem de capim-BRS capiaçu colhido aos 100 dias de rebrota.

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. Na prática, colheita acima de 120 dias, as plantas tendem a crescer muito e fica mais susceptível ao acamamento, dificulta a colheita e conseqüentemente aumenta os custos operacionais, pois tem maior custo com mão de obra para fazer a colheita de plantas acamadas.

2.3. PALMA FORRAGEIRA

Utilizada para diversas finalidades, a palma forrageira é uma espécie nativa do continente americano, mais precisamente do México (Lima, 2001), que se adaptou bem em boa parte do semiárido brasileiro e do mundo, por apresentar características anatômicas, morfológicas, fisiológicas e bioquímicas de adaptação frente aos rigores climáticos (Cândido et al., 2013).

Relatos acerca da introdução da palma no Brasil citam empresários Nordestinos do ramo da indústria têxtil como os principais idealizadores da cultura. A implantação da palma tinha por finalidade a obtenção do corante carmim, substância produzida pela cochonilha-do-carmim (*Dactylopius opuntiae*) inseto hospedeiro da planta. Ao difundirem a palma, obtinha-se então o corante que seria empregado no processo de tingimento dos tecidos em suas indústrias (Siqueira., 2018).

Contudo, no início da década de 20, os derivados do petróleo (tintas e esmaltes sintéticos) começaram a ser lançados no mercado de maneira intensiva, de forma que o processo de produção do carmim tornou-se inviável (Suassuna, 2009). Sem êxito em sua exploração inicial, a palma passou a ser utilizada para fins ornamentais, e posteriormente, descoberta como planta forrageira, durante o período da grande seca de 1932, quando introduzida na alimentação dos rebanhos (Lima, 2001).

A palma forrageira se destaca por suportar as condições climáticas impostas pelo semiárido (Marques et al., 2017; Nogueira et al., 2019), servindo como base alimentar dos rebanhos (Galvão Júnior et al., 2014).

Sua adaptabilidade pode ser atribuída as características morfofisiológicas xeromórficas, como raízes bem desenvolvidas, predominantemente superficiais (Marques et al., 2017). Destaca-se o metabolismo diferenciado CAM (Metabolismo Ácido das Crassuláceas) que permite a esta forrageira um maior aproveitamento da água, visto que, plantas com este diferencial, abrem seus estômatos durante a noite, mantendo-os fechados durante o dia, o que reduz a perda de água pela evaporação estomática (Donato et al., 2014; Almeida et al., 2015; Niechayev et al., 2019).

Vários são os benefícios da inclusão de palma forrageira na dieta de animais ruminantes, entretanto, pouco é sabido sobre comportamento dessa forrageira quando ensilada sozinha ou misturada com outros volumosos. Evidentemente que a palma forrageira apresenta altos teores de umidade, cerca de 90% da matéria natural (Marques et al., 2017), e que a alta atividade de água pode vir a prejudicar a

fermentação da massa ensilada (Costa et al., 2016; Tolentino et al., 2016; Kung Jr et al., 2018; Veriato et al. 2018).

Entretanto trabalhos recentes (Monção et al., 2020; Alencar et al., 2023; Cordeiro et al., 2023) vêm demonstrando que apesar do baixo teor de matéria seca (por volta de 10%) a palma forrageira, quando fatiada, pode ser ensilada e produzir silagem de qualidade. A principal justificativa é que o alto teor de carboidratos solúveis fornece substrato que é facilmente fermentável pelas bactérias produtoras de ácido láctico, reduzindo o pH, inibindo assim o crescimento de microrganismos indesejáveis (Pereira, 2019). Outra característica é que a mucilagem, uma mistura de polissacarídeos constituída por arabinose, galactose, ramnose e ácidos galacturônicos, apresenta propriedades osmóticas de absorver fluídos presentes na massa ensilada (Felkai-Haddache et al., 2016).

Entretanto, para a obtenção de silagens de palma forrageira com perfil de fermentação adequado, alguns pontos devem ser levados em consideração, sendo os principais o tamanho de partícula e a manutenção da anaerobiose (Kung Jr et al., 2018; Monção et al., 2020). Os cuidados em relação ao tamanho de partícula devem se concentrar em se evitar a maceração dos cladódios para não se intensificar a liberação de água que fica ligada a mucilagem, assim partículas de 2-5 cm seriam recomendadas (palma fatiada). A mucilagem representa cerca de 14% do peso seco do cladódio, contendo aproximadamente 30% de água presente no parênquima de reserva (Ventura-Aguilar et al., 2017). A manutenção da água ligada à mucilagem evita altas quantidades de água livre no processo de fermentação, o que pode ser prejudicial. Em relação à manutenção da anaerobiose, esta é importante para a proliferação de bactérias fermentadoras de ácido láctico (BAL), pois a palma forrageira possui concentrações elevadas de pentoses (xilose e arabinose) e hexoses (manose, glicose e galactose) (Felkai-Haddache et al., 2016). Assim, as BAL utilizam esses açúcares como substrato para produzir ácido láctico, resultando em silagens com adequado perfil fermentativo (Pereira, 2019).

Levando em consideração as dificuldades práticas em nível de campo relacionadas à ensilagem da palma forrageira (principalmente a compactação para criar o ambiente livre de ar) a confecção de silagens mistas de palma forrageira e gramíneas vem se tornando uma opção interessante (Brito et al., 2020; Monção et al., 2020). Essa

técnica tem por princípio se beneficiar dos carboidratos solúveis presentes na palma junto do maior teor de matéria seca da gramínea selecionada, o que pode vir a minimizar problemas na produção de silagem.

Monção et al. (2020) avaliaram a ensilagem do capim-BRS capiaçu associado a palma forrageira triturada em diferentes níveis de inclusão (0, 5, 10, 15 e 20% na matéria natural). Os autores concluíram que com até 5% de inclusão de palma forrageira os melhores resultados foram alcançados, visto que, apesar de maiores inclusões aumentarem a digestibilidade in vitro da matéria seca e da fibra em detergente neutro, as perdas de matéria seca por efluentes e gases se tornam maiores.

2.4. PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE SILAGEM

O principal objetivo da conservação de forragens é a preservação dos nutrientes (proteínas, carboidratos, lipídios, minerais, vitaminas) presente na massa ensilada, para que sejam fornecidos e utilizados pelos animais no momento oportuno. A silagem é o material produzido pela fermentação controlada de uma forragem ou cereal com alto teor de umidade. Para ser ensilada, uma forragem deve conter um nível adequado de substratos fermentáveis sob forma de carboidratos solúveis em água (os principais são glicose, frutose e sacarose), um baixo poder tampão, um teor de matéria seca acima de 20% e deve também possuir uma estrutura física que permita uma boa compactação no silo (McDonald et al., 1991). Essas são as premissas básicas de qualquer forrageira para ser ensilada visando adequada capacidade fermentativa.

Os parâmetros mais utilizados para classificar qualitativamente a silagem são: os teores de ácido orgânicos, pH e o nitrogênio amoniacal, pois indicam as transformações relacionadas com as perdas nos elementos nutritivos no interior dos silos. Entretanto, alguns parâmetros podem influenciar o processo fermentativo como teor de matéria seca da planta no momento da ensilagem, atividade de água (AW), conteúdo de carboidratos solúveis e o poder tampão (Kung Jr et al., 2018).

McDonald et al. (1991), preleciona que vários ácidos orgânicos são produzidos durante a fermentação de silagens (lático, acético, butírico, isobutírico, propiônico, valérico, isovalérico, succínico, fórmico). Todavia, para a avaliação da qualidade do processo fermentativo, os mais comumente utilizados são os ácidos lático, butírico e

acético. Os autores determinaram que as perdas de matéria seca e de energia das silagens são maiores quando há presença de fermentação clostridiana, fermentando alanina a ácido propiônico e acético e também convertendo ácido láctico em ácido butírico e de enterobactérias, que fermentam a glicose em ácido acético.

Durante a ensilagem, o ácido láctico (pKa de 3,86), produzido por bactérias do ácido láctico (BAL), é geralmente o ácido encontrado na maior concentração nas silagens e contribui mais para o declínio do pH durante a fermentação porque é cerca de 10 a 12 vezes mais forte do que qualquer um dos outros ácidos principais [por exemplo, ácido acético (pKa de 4,75) e ácido propiônico (pKa de 4,87)] encontrados nas silagens (Moiso e Heikonen, 1994).

Para Fisher e Burns (1987), o conteúdo de ácido butírico reflete a extensão da atividade clostridiana sobre a forragem ensilada e está relacionado a menores taxas de decréscimo e maiores valores finais de pH nas silagens. O conteúdo desse ácido pode ser considerado um dos principais indicadores negativos da qualidade do processo fermentativo, bem como corresponde àquelas silagens que apresentaram perdas acentuadas de matéria seca e energia da forragem original durante a fermentação e, frequentemente, esse conteúdo de ácido butírico é positivamente correlacionado à redução da palatabilidade e do consumo da forragem.

O conteúdo de ácido acético, assim como o conteúdo de ácido butírico, também está relacionado a menores taxas de decréscimo e de maiores valores finais de pH nas silagens. Esse conteúdo corresponde, principalmente, à ação prolongada de enterobactérias e bactérias lácticas heterofermentativas, mas, em menor proporção, sendo também produzido por clostrídios. Além de afetar negativamente a queda do pH, as fermentações promovidas por esses microrganismos acarretam maiores perdas de matéria seca e energia do material ensilado. Portanto, silagens bem conservadas devem apresentar reduzido conteúdo de ácido acético, cujo nível também pode ser utilizado como parâmetro para a avaliação da qualidade do processo fermentativo (Muck e Bolsen, 1991).

O pH (potencial hidrogeniônico) é uma grandeza físico-química que indica a acidez, neutralidade ou alcalinidade de um meio qualquer. Sua escala varia entre 0 e 14, sendo que o pH 7 com temperatura de 25 °C, indica um pH neutro, abaixo desse valor refere-se a um meio ácido e acima de 7 indica um meio alcalino (Pilch, 2014).

A avaliação do pH na silagem é comumente utilizada como indicativo da qualidade fermentativa, por ser uma análise rápida, barata e de fácil execução. Ao medir o valor do pH, pode-se avaliar a magnitude da fermentação, processo fundamental para o sucesso da forragem conservada. Assim, valores de pH das silagens bem conservadas variam entre 3,6 a 4,2; enquanto as de baixa qualidade se situam entre 5,0 a 7,0 (Tomich, 2004).

Silagens bem conservadas apresentam altas proporções de ácido lático em relação aos outros ácidos orgânicos, desde que não se utilizem aditivos para restringir a fermentação (Fairbairn et al., 1992). A estabilização do pH e a adequada quantidade de ácidos orgânicos fazem com que se reduza a capacidade tamponante da forragem (Van Soest, 1994). A redução do pH na silagem, decorrente da produção desses ácidos, promove uma queda na atividade proteolítica das enzimas da própria forragem e reduz o crescimento de microrganismos anaeróbicos indesejáveis, particularmente as enterobactérias e clostrídios (Pilch, 2014).

Segundo Ditchfield (2000), o termo atividade da água (A_w) foi criado para denominar a água disponível para crescimento microbiano e reações que possam deteriorar os alimentos. A A_w refere-se à medição da concentração de solutos em água e seus efeitos sobre a atividade química da água. O valor da A_w indica o nível de água em sua forma livre nos materiais e é expresso na escala de 0 a 1,0; em que se considera o valor 0 (zero) para materiais livres de água e 1,0 para a água em sua forma líquida. Logo, a atividade de água pura é 1,0 e diminui com o aumento na concentração de solutos. No campo da avaliação de alimentos ensilados, a A_w é de grande importância para a qualidade de fermentação durante a ensilagem e para a atividade microbiológica durante a fase de utilização da silagem. De acordo com Lindgren (1999), a redução na A_w pode ter efeito sinérgico na queda do pH, devido à tolerância das bactérias ácido lácticas às condições de baixa umidade, assumindo grande importância na qualidade da fermentação da silagem.

Os microrganismos de uma forma geral são fundamentais no processo de fermentação de silagens e têm sua atividade largamente afetada pela A_w . Alguns trabalhos conduzidos no Brasil, com espécies tropicais, evidenciam valores relativamente elevados para a A_w em silagens de gramíneas. Nesse contexto, Castro et al., (2001), registraram valores de A_w entre 0,69 e 0,85 para silagem de Tifton 85,

enquanto Igarasi (2002), registrou valores de A_w superiores a 0,93 para silagem de Capim-Tanzânia.

O desenvolvimento da maioria das bactérias e fungos está restrito a valores de A_w acima de 0,90, no entanto, as salmonelas precisam de A_w superior a 0,92 para crescimento. Garcia (2004), destaca que o limite mínimo para o crescimento de fungos é de 0,78 A_w e a produção de aflatoxinas é de 0,86 A_w . Segundo McDonald et al., (1991), o crescimento de bactérias do gênero *Clostridium* é inibido com A_w abaixo de 0,94, mas as bactérias ácido lácticas são menos sensíveis.

Nos estudos publicados por pesquisadores brasileiros, tem-se verificado que o aumento no teor de matéria seca de silagens de gramíneas evidencia reduções na população microbiana, especialmente de clostrídeos. Em silagens de materiais emurhecidos, a baixa atividade microbiana torna-se evidente pela baixa concentração de ácidos orgânicos e consequente pH mais elevado (Jobim, 2007).

O conteúdo de amônia das silagens, expresso como percentagem do nitrogênio amoniacal em relação ao nitrogênio total ($N-NH_3/NT$), é utilizado na avaliação das silagens. O aumento da produção de amônia provocado pela proteólise ou pela ocorrência eventual de aquecimento excessivo na massa do silo pode ocasionar neutralização dos ácidos desejáveis e reações de “Maillard” conforme Pigurina (1991), parâmetros determinantes na qualidade final do material ensilado (Van Soest, 1994).

Segundo McDonald et al., (1991), silagens mal preservadas apresentam níveis de amônia superiores a 20%. Essa amônia é derivada do catabolismo de aminoácidos, entre outros produtos de degradação como aminas, cetoácidos e ácidos graxos, por via de três processos bioquímicos: deaminação, descarboxilação e reações de oxidação e redução.

Quanto à relação, o teor de $N-NH_3/NT$ junto com o valor de pH são indicativos do processo fermentativo. Normalmente a quantidade de amônia é utilizada como indicador da atividade clostridial proteolítica. Muitos trabalhos concordam com a utilização deste parâmetro na indicação do grau de proteólise na silagem (McDonald et al., 1991). Tais considerações são importantes, visto que os altos níveis de proteólise nas silagens podem estar relacionados a baixos consumos voluntários e menor eficiência de síntese de proteína microbiana (Van Soest, 1994). Visto que os altos níveis de proteólise nas silagens podem estar relacionados a baixos consumos voluntários e menor eficiência de síntese de proteína microbiana (Van Soest, 1994). A silagem é considerada de muito

boa qualidade quando apresenta uma relação N-NH₃/NT menor que 10%, boa entre 10 e 15%, média entre 15 e 20% e ruim quando maior que 20% (AFRC, 1987).

Skonieski et al., (2010), estudando as características fermentativas de silagens de sorgo forrageiro e duplo propósito, encontraram para os genótipos forrageiros valor de 1,9% de N-NH₃/NT. Para os duplos propósitos, o valor foi de 1,91% para a relação N-NH₃/NT. O nitrogênio amoniacal da silagem é significativamente menor quando se ensilam materiais com valores altos de matéria seca e carboidrato solúvel em água (McDonald et al., 1991). Gonçalves et al., (1999), ao compararem silagens de diferentes híbridos de sorgo, observaram menores concentrações de N-amoniacal em silagens com maiores concentrações de MS.

2.5. USO DE ADITIVO SEQUESTRANTE DE UMIDADE NA PRODUÇÃO DE SILAGEM

McDonald et al. (1991) enfatizam que silagens produzidas com forrageiras com alto teor de umidade favorecem as perdas por efluente, além de facilitar o crescimento de bactérias que produzem fermentações indesejáveis. Aditivos sequestrantes de umidade são muito utilizados no Brasil, principalmente para silagem de forrageiras tropicais. Agem corrigindo o teor de MS. Alguns materiais fornecem carboidratos solúveis e estimulam a fermentação. Por diluição, quanto melhor a qualidade do sequestrante usado, menor o teor de FDN e maior a digestibilidade da MS, o que pode levar ao maior consumo e desempenho de ruminantes. A redução do teor de água na forragem concentra os carboidratos solúveis, diminui a ocorrência de fermentações clostrídica, favorece o abaixamento do pH, reduz a quebra de proteína em amônia e diminui a produção de gases e efluentes (Antonio, 2016).

A característica principal de um aditivo sequestrante de umidade é o teor de MS acima de 85%. Quando ensilado junto a forragem, o aditivo irá absorver a umidade e equilibrar o teor de matéria seca da mistura final. O aditivo pode conter nutrientes digestíveis totais, o que pode aumentar a qualidade nutricional da silagem produzida (Andrade, 2013). Alguns exemplos desses aditivos são eles: polpa cítrica farelada ou peletizada; subprodutos desidratados da mandioca, maracujá desidratado; glicerina bruta; resíduos de colheita de soja e algodão; tortas e farelos. Aditivos com baixo teor de fibras pode proporcionar maior utilização dos nutrientes da silagem no ambiente

ruminal, o que contribui para adequada taxa de degradação e passagem da digesta ruminal e, possivelmente, melhor desempenho de animais ruminantes (Antonio, 2016).

Segundo Andrade et al. (2010), para utilizar aditivos absorventes, preconiza-se que estes apresentem alto teor de matéria seca, alta capacidade de retenção de água e boa aceitabilidade, além de fácil manipulação, baixo custo e fácil aquisição. Considerando os requisitos citados anteriormente, o milho moído apresenta-se com características que podem beneficiar a qualidade final da silagem, com elevado teor de matéria seca (acima de 85%), o que poderia contribuir para a elevação da matéria seca da silagem e, como consequência, reduzir as prováveis perdas de valor nutritivo, além de ser uma fonte altamente energética, possuindo carboidratos de rápida fermentação ruminal. Entre os aditivos mais utilizados na ensilagem do capim-elefante são os que apresentam alta capacidade de reter umidade, como fubá de milho, farelo de trigo, polpa cítrica e resíduos regionais da agroindústria. Sendo que o milho (*Zea mays* L.), em função de seu potencial produtivo, composição química e valor nutritivo, constitui-se em um dos mais importantes cereais cultivados e consumidos no mundo. Devido a sua multiplicidade de aplicações, quer na alimentação humana quer na alimentação animal, assume relevante papel socioeconômico, além de constituir-se em indispensável matéria-prima impulsionadoras de diversificados complexos agroindustriais (Menezes et al., 2009; Tres et al., 2014). Assim, surge o fubá de milho como opção para ser utilizado como sequestrante de umidade em silagens de capim-elefante, melhorando os padrões de fermentação e o valor nutricional desta silagem (Andriguetto et al., 2003).

Paula et al. (2020) avaliaram as perdas fermentativas e a qualidade da silagem de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum) cv. BRS capiaçu com diferentes níveis de fubá de milho, sendo 0, 5, 10, 15 e 20% de milho com base na matéria natural. Os autores concluíram que a utilização de níveis crescentes do fubá de milho reduziu as perdas fermentativas e como consequência melhorou o valor nutritivo da silagem de capim-elefante. Sendo indicado a inclusão de 10% de fubá de milho na ensilagem do capim-BRS capiaçu.

3. REFERÊNCIAS

Agricultural and Food Research Council – AFRC. Technical committee on responses to nutrients report number 2, characterisation of feedstuffs: nitrogen. Nutrition Abstracts and Reviews (series B), Farnham Royal, v. 57, n. 12, p. 713-736, 1987.

Alencar, M. A. S., Rocha Júnior, V. R., Monção, F. P., Cordeiro, M. W. S., Santos, A. S., Caldeira, 281 L. A., Oliveira, L. I. S., Ananias, J. V. A., Costa, M. D., Souza, A. S., Aspiazú, I., Santos, L.C.S. 2023. 282 Quality of mixed silages of sorghum, BRS-capiaçu grass, and cactus pear in a semiarid region 283 of Brazil, Journal of Applied Animal Research, 51:719-728. 284 <https://doi.org/10.1080/09712119.2023.2277256>.

Almeida, G.A.P., de Souza Campos, J.M., de Andrade Ferreira, M., Correia, A.L.V., de Andrade, A.P., 2015. Palma (*Opuntia ficus indica* mill) cv. gigante em suplementos para fêmeas leiteiras em crescimento a pasto. Rev. Caatinga 28, 161–171.

Andrade, I. V. O., Pires, A. J. V., Carvalho, G. G. P., Veloso, C. M., & Bonomo, P. (2010). Perdas, características fermentativas e valor nutritivo da silagem de capim-elefante contendo subprodutos agrícolas. Revista Brasileira de Zootecnia, 39, 2578–2588. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1516-35982010001200004>.

Andrade, J. O., Silagem da ponta da cana-de-açúcar aditivada com resíduo de cervejaria desidratado na alimentação de ovinos. 2013. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa.

Andriguetto, J. M., Perly L., Y., & Minardi, I. (2003). Nutrição Animal (Vol. 66). Editora Nobel. Ávila, C. L. S., Pinto, J. C., Evangelista, A. R., Moraes, A. R., Figueiredo, H. C. P., & Tavares, V. B. (2003). Perfil de fermentação das silagens de capim-tanzânia com aditivos teores de nitrogênio amoniacal e ph. Ciência e Agrotecnologia, 27(5), 1144–1151. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1413-70542003000500024>.

Antonio, P. Aditivos proteicos sequestrantes de umidade na ensilagem de gramíneas tropicais. 2016. 50 f. Tese (Doutorado em Ciência Animal) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016.

Barbero RP, Barbosa MAAF, Castro LM, Ribeiro ELA, Mizubuti IY, Bumbieris Júnior VH, Silva LDF, Massaro Júnior FL. Desempenho de novilhos de corte em pastos de capim-tanzânia sob quatro alturas de desfolha. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*. 2014;66(2):481-488. [https://doi.org/ 10.1590/1678-41625481](https://doi.org/10.1590/1678-41625481).

Bergamaschine, A.F.; Passipiéri, M.; Veriano Filho, W. et al. Qualidade e valor nutritivo de silagens de capim-marandu (*B. brizantha* cv. Marandu) produzidas com aditivos ou forragem emurhecida. *Revista Brasileira de Zootecnia*., v.35, n.4, p.1454-1462, 2006.

Brito, G.S.M.S., Santos, E.M., de Araújo, G.G.L., de Oliveira, J.S., Zanine, A. de M., Perazzo, A.F., Campos, F.S., de Oliveira Lima, A.G.V., Cavalcanti, H.S., 2020. Mixed silages of cactus pear and gliricidia: chemical composition, fermentation characteristics, microbial population and aerobic stability. *Sci. Rep.* 10, 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-63905-9>.

Brunkem, J. N. 1977. A systematic study of *Pennisetum* sect. *Pennisetum* (Graminae). *American Journal of Botany*, 64:2, 161-176. <https://doi.org/2442104>.

Cândido, M. J. D. et al. Cultivo de palma forrageira para mitigar a escassez de forragem em regiões semiáridas. *Informe Rural*, ano VII, n.3, p.1-7, 2013.

Castro, L.M., Barbosa, M.A.A.F., Barbero, R.P., Brito, V.C., Saad, R.M., Ribeiro, E.L.A., Mizubuti, I.Y, Bridi, A.M. Produção de forragem e composição estrutural de pastos de *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés manejados em diferentes alturas de pastejo. *Semina Ciências Agrárias* (Online). 2013,34(6):4145-4156. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445744138035>.

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.

Cordeiro, M.W.S, Rocha Júnior, V.R, Monção, F.P, Palma, M.N.N, Rigueira, J.P.S, Carvalho, C.C.S, Costa, M.D, Vasconcelos D'Angelo, M.F.S.V, Costa, N.M, Oliveira, L.S. 2023. Silagens de gramíneas tropicais com palma forrageira em dietas de novilhas Holandês × Zebu no semiárido brasileiro. *Saúde e Produção Animal Tropical* 55:89.

Costa, R.F., Pires, D.A. de A., Moura, M.M.A., de Sales, E.C.J., Rodrigues, J.A.S., Rigueira, J.P.S., 2016. Agronomic characteristics of sorghum genotypes and nutritional values of silage. *Acta Sci. - Anim. Sci.* 38, 127–133.

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

Ditchfield, C. Estudos dos métodos para a medida da atividade de água. 2000. 195 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia)-Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2000.

Donato, P.E.R., Pires, A.J.V., Donato, S.L.R.; Silva, J.A.S., 2014. Diferentes Espaçamentos E Doses De Esterco Bovino. *Rev. Caatinga* 27, 163–172.

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>.

Fairbairn, R.; ALL, I.; Phillip, L. P. Proteolysis and amino acid degradation during ensilage of untreated of formic acid during ensilage of untreated of formic acid-treated lucerne and maize. *Grass and Forage Science*, Oxford, v. 47, n. 4 p. 382-390, 1992.

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

Fernandes, A. M. F., Bomfim, M. A. D., Santos, S. F., Mota, C. M., Gonçalves, J. L. Uso da espectroscopia no infravermelho próximo para previsão da composição químicobromatológica de palma forrageira. *Revista Agraria Academica, Sobral - CE*, v. 6, n. 1, p. 25-34, 2023. <http://dx.doi.org/10.32406/v6n1/2023/25-34/agrariacad>.

Fisher, D. S.; Burns, J. C. Quality analysis of summer-annual forages. II. Effects of carbohydrate constituents on silage fermentation. *Agronomy Journal, Madison*, v. 79, n. 2, p. 242-248, 1987.

Galvão Júnior, J.G.B., Da Silva, J.B.A., Moraes, J.H.G., De Lima, R.N., 2014. Palma forrageira na alimentação de ruminantes: Cultivo e utilização. *Acta Vet. Bras.* 8, 78–85.

Garcia, D. M. Análise de atividade de água em alimentos armazenados no interior de granjas avícolas. *Acta Scientiae Veterinariae, Porto Alegre*, v. 32, n. 3, p. 251-252, 2004.

Gonçalves, L. C. et al. Silagem de sorgo de porte baixo com diferentes teores de tanino e de umidade no colmo III: quebra de compostos nitrogenados. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia, Belo Horizonte*, v. 51, n. 6, p. 571-576, 1999.

Gurgel, A. L. C., Difante, G. S., Emerenciano Neto, J. V., Souza, J. S., Veras, E. L. L., Costa, A. B. G., Roberto, F. F. S. (2017). Estrutura do pasto e desempenho de ovinos em capim-massai na época seca em resposta ao manejo do período das águas. *Boletim de Indústria Animal*, 74(2):86-95.

Hammer, O., Harper, D.A.T, Ryan, P.D. 2001. PAST: Paleontological Statistics software package for education and data analysis. *Palaeontol Electronica*, 4:1-9.

Igarasi, M. S. Controle de perdas na ensilagem de capim-Tanzânia *Panicum maximum* Jacq. cv. Tanzânia) sob os efeitos do teor de matéria seca, do tamanho de partícula, da estação do ano e da presença do inoculante bacteriano. 2002. 151p. Dissertação (Mestrado em Agronomia)- Escola Superior Agrícola “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

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.

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

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

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

Lima, I. M. M.; GAMA, N. S. Registro de plantas hospedeiras (cactaceae) e de nova forma de disseminação de Diaspisechinocacti (Bouché) (Hemíptera: Diaspididae), cochonilha-dapalma forrageira, nos estudos de Pernambuco e Alagoas. Neotropical Entomology, Londrina, v.30, n.3, p. 479-481, 2001.

Lindgren, S. Can HACCP Principles be applied for silage safety? In: INTERNATIONAL SILAGE CONFERENCE, 7, 1999, Uppsala. Proceedings... Uppsala: Swedish University of Agricultural Science, 1999. p. 51-66.

Macêdo, A. J. da S.; Santos, E. M. Princípios básicos para produção de silagem. Arq. Ciênc. Vet. Zool. UNIPAR, Umuarama, v. 22, n. 4, p. 147-156, out./dez. 2019.

Marques, F.O., Souza, L., Gomes, P., Henrique, M., Mourthé, F., Gomes, T., Santos Braz, D., De Souza, O., Neto, P., 2017. Palma forrageira: cultivo e utilização na alimentação de bovinos. Cad. Ciências Agrárias 9, 75–93.

Martins, L. F., Prado, D. M. B. Gomes, G. R. Teixeira, A. M., Oliveira, L. N., Gonçalves, L. C., & Oliveira, F. S. (2020). Valor nutricional do capim-elefante verde colhido em diferentes idades de rebrota. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 72(5), 1881- 1890. doi.org/10.1590/1678-4162-11329.

McDonald, P., HENDERSON, A.R., HERON, S. *The Biochemistry of Silage*. 2ed. Marlow: chacombe Publications, 1991, 340p.

Menezes, B. R. S., Daher, R. F.; Gravina, G. A., Gottardo, R. D., Schneider, L. S. A., Rocha, A. S. (2016). Comportamento Per se de híbridos de capim-elefante para fins energéticos. *Comunicata Scientiae*, 7(1), 73-85. doi: 10.14295/cs.v7i1.946

Menezes, L. F. G., Segabinazzi, L. R., Brondani, I. L., Restle, J., Arboitte, M. Z., Kuss, F., Pacheco, P. S., & Rosa, J. R. P. (2009). Silagem de milho e grão de sorgo como suplementos para vacas de descarte terminadas em pastagem cultivada de estação fria. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 61(1), 182–189. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0102-09352009000100026>.

Moiso, T.; Heikonen, M. Lactic acid fermentation in silage preserved with formic acid. *Animal Feed Science and Technology*, Amsterdam, v. 47, n. 1-2, p. 107-124, 1994.

Monção, F. P., Alkimin, J. M., Rigueira, J. P. S., Tolentino, D. C., Rocha Júnior, V. R., Chamone, J. M. A., Carvalho, C. C. S., Marques, O. F. C., Melo, J. A. R., Silva, M. F. P., Sales, E. C. J., Rocha, M. H. Transferência de tecnologias zootécnicas a agricultores familiares no município de Espinosa/MG. *Revista online de Extensão e Cultura Realização*, v. 6, n. 11, p. 84-139, 2019.

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, J.M.A.; Alves, D.D.; Carvalho, C.C.S.; Murta, J.E.J.; Rocha Júnior, V.R. 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*, v, 51:6, 1-7. 10.1007/s11250-019-02012-y.

Monção, F. P.; Rocha Júnior, V. R.; Leal, D. B.; Rigueira, J. P. S.; Caldeira, L. A.; Silva, R. K. O. J.; Antunes, A. B.; Carvalho, C. C. S.; Santos, A. S.; D'Angelo, M. F. S. V. Impact of mixed forage silage with BRS Capião grass, ground corn, and varying forage palm levels on aerobic stability, fermentation profile, chemical composition, and digestibility. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 53, e20240122, 2024. DOI: <https://doi.org/10.37496/rbz5320240122>.

Monção, F.P., Santana, P.F., Júnior, V.R.R., Ruas, J.R.M., Rigueira, J.P.S., Borges, L.D., de Castro Menezes, G.C., Sousa, T.E.S., da Costa, M.D., Oliveira, L.L.S., de Queiroz, F.E., 2020. Nutritional efficiency of feed-restricted F1 Holstein/Zebu cows in early lactation. *Trop. Anim. Health Prod.* <https://doi.org/10.1007/s11250-019-01994-z>.

Monteiro, I. J. G., Abreu, J. G., Cabral, L. D. S., Ribeiro, M. D., Reis, R. H. P. Silagem de capim-elefante aditivada com produtos alternativos. *Acta Scientiarum Animal Sciences*, v. 33, n. 4, p. 347- 352, 2016. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v33i4.12629>.

Moraes, G. S. O., Guim, A., Tabosa, J. N., Chagas, J. C. C., Almeida, M. P., Ferreira, M. A. Cactus [*Opuntia stricta* (Haw.) Haw] cladodes and corn silage: How do we maximize the performance of lactating dairy cows reared in semiarid regions?. *Livestock Science*, v. 221, p. 133–138, 2019.

Moran, J. P., Weinberg, Z. G., Ashbell, G., Hen, Y., and Owen, T. R. (1996). A comparison of two methods for the evaluation of the aerobic stability of whole crop wheat silage. *Proc. 11th Int. Silage Conf., Univ. of Wales* 162–163.

Muck, R. E., Nadeau, E. M. G., Mc Allister, T. A., Contreras-Govea, F. E., Santos, M. C., Kung L. 2018. Silage review: Recent advances and future uses of silage additives. *J. Dairy Sci.* 101:3980–4000. Available from: <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2017-13839>.

Muck, R. E.; Bolsen, K. K. Silage preservation and silage additive products. In: BOLSEN, K. K. et al. (Eds.). Field guide for hay and silage management in North America. Des Moines: National Feed Ingredients Association, 1991. p. 105-126.

National Research Council- NRC. 2001. Nutrient requirements of dairy cattle (7th rev.ed.). Washington, DC: National Academy Press.

Neumann, M.; Oliboni, R.; Oliveira, M. R.; Faria, M. V.; Ueno, R. K.; Reinerh, L. L.; DURMAN, T. Aditivos químicos utilizados em silagens. Pesquisa aplicada & Agrotecnologia, v. 3, n. 2, p. 187-208, 2010.

Niechayev, N.A., Pereira, P.N., Cushman, J.C., 2019. Understanding trait diversity associated with crassulacean acid metabolism (CAM). Curr. Opin. Plant Biol. 49, 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).

Nogueira, M.S., de Araújo, G.G.L., Santos, E.M., Neto, S.G., de Oliveira, J.S., Perazzo, A.F., de Moura Zanine, A., Pinho, R.M.A., Corrêa, Y.R., Pereira, D.M., 2019. Feed Alternatives with Cactus Forage Silage for Animal Nutrition. Int. J. Agric. Biol. 22, 1393–1398. <https://doi.org/10.17957/IJAB/15.1213>.

O'Rourke, P.K.; McCosker, T.H.; Teitzel, J.K. Application and appraisal of a visual estimation technique for composition and yield sampling of grasslegume pastures in the wet tropics of north-eastern Australia. Australian Journal Experimental Agriculture Animal Husbandry, v.24, n.127, p.535-542, 1984.

Paula, P. R. P., Neiva, A. P., Jr., Souza, W. L., Abreu, M. J. I., Teixeira, R. M. A., Cappelle, E. R., & Tavares, V. B. (2020). Composição bromatológica da silagem de capim- elefante

BRS Capiáu com inclusão fubá de milho. PUBVET, 14(10), 1-11. doi: 10.31533/pubvet.v14n10a682.1-11.

Pereira, A. V. et al. BRS Capiáu E BRS Kurumi: cultivo e uso. Brasília, DF: Embrapa Gado de Leite, 2021. ISSN: 978-65-86056-07-5. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/223279/1/Livro-BRS-CAPIACU-E-BRS-KURUMI-final-com-capa.pdf> . Acesso em: 10 set. 2022.

Pereira, A. V., Ledo, F. J. da S., Morenz, M. J. F., Leite, J. L. B., Brighenti, A. M., Martins, C. E., & Machado, J. C. (2016). BRS Capiáu: cultivar de capim-elefante de alto rendimento para produção de silagem. Embrapa Gado de Leite-Comunicado Técnico (INFOTECA-E).

Pereira, A. V., Ledo, F. J. da S.; Machado, J. C. (2017). BRS Kurumi and BRS Capiáu – New elephant grass cultivars for grazing and cut-and-carry system. Crop Breeding And Applied Biotechnology, 17(1), 59-62.

Pereira, A. V., Valle, C. B., Ferreira, R. P., & Miles, J. W. Melhoria de forrageiras tropicais. En: Nass, L. L., Valois, A. C. C., Melo, I. S., & Valadares Ingres, M. C. (Eds.) (2001). Recursos Genéticos e Melhoria de Plantas. (p.549-602). Rondonópolis: Fundação Mato Grosso.

Pereira, G.A., 2019. Prospecção E Uso De Culturas Lácticas Como Inoculante Na Ensilagem De Palma Forrageira. Univ. Fed. Da Paraíba. Universidade Federal Da Paraíba Centro. P.94.

Pigurina, G. Factores que afectan el valor nutritivo y la calidad de fermentacion de ensilajes. In: INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACION AGROPECUÁRIA. (Ed). Pasturas y produccion animal de áreas organaderia intensiva. Monte video: INIA, 1991. p. 77-92. (Serie Técnica,15).

Pilch, M. R.; Schmidt, P. Metodologias de avaliação do pH de silagens. UFPR, Curitiba. Centro de pesquisa em forragicultura. Disponível em: <<http://www.ensilagem.com.br>>. Acesso em: 11 jan. 2014.

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

Queiroz Filho, J. L., Silva D. S., & Nascimento, I. S. (2000). Produção de matéria seca e qualidade do capimelefante (*Pennisetum purpureum*, Schum.) cultivar Roxo em diferentes idades de resíduo, *Revista Brasileira de Zootecnia*, 29(1), 69-74.

Ribas, WFG; Monção, F.P.; Rocha, VR; Maranhão, C.M.A.; Ferreira, HC; Santos, AS; Gomes, VM; Rigueira, J.P.S. 2021. Efeito do tempo de murcha e enzimático-bacteriano no perfil fermentativo, estabilidade aeróbia e valor nutricional do BRS capiaçu silagem de capim. *Revista brasileira de zootecnia*, 50:20200207.

Silva, C.F.P.G. Avaliação nutricional de silagens da parte aérea e raízes de mandioca. Itapetinga – BA: UESB, 2009. 91 p. (Dissertação – Mestrado em Zootecnia – Produção de Ruminantes).

Siqueira, A. O. Morfometria, produção e composição químico-bromatológica de cultivares de palma forrageira submetidos à adubação orgânica. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba, MG, 2018. 55p.

Skonieski, F. R.; Nornberg, J. L.; Azevedo, E. B. de. Produção, caracterização nutricional e fermentativa de silagens de sorgo forrageiro e sorgo duplo propósito. *Acta Scientiarum Animal Sciences*, Maringá, v. 32, n. 1, p. 27-32, 2010.

Suassuna, P. Tecnologia do cultivo intensivo da Palma. Aracaju: SEBRAE-SE, 2009. 42p.

Sucu, E., Kalkan H, Canbolat O, Filya I. (2016). Efeitos da densidade de ensilagem no valor nutritivo de silagens de milho e sorgo. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 45, 596-603.

Tilley, J.M.A, Terry, R.A. 1963. A two stage technique for the in vitro digestion of forage crops. Journal of the British Grassland Society, 18:104-111.

Tolentino, D.C., Rodrigues, J.A.S., Pires, D.A. de A., Veriato, F.T., Lima, L.O.B., Moura, M.M.A., 2016. The quality of silage of different sorghum genotypes Daniella. Acta Sci. - Anim. Sci. 38, 143–149. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v38i2.29030>

Tomich, T. R. Características químicas e digestibilidade in vitro de silagens de girassol. Revista Brasileira de Zootecnia, Viçosa, v. 33, n. 6, p. 1672-1682, 2004 (Suplemento, 1).

Tosi, H., Rodrigues, L. R. A., Jobim, C. C., Oliveira, M. S., Sampaio, A. A. M., & Rosa, B. (1995). Ensilagem do capim elefante cv. Mott sob diferentes tratamentos. Revista Brasileira de Zootecnia, 24(6), 909-916.

Tres, T. T., Jobim, C. C., Rossi, R. M., Silva, M. S., & Poppi, E. C. (2014). Silagem de grãos de milho, com adição de soja: estabilidade aeróbia e desempenho de vacas leiteiras. Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal, 15(1), 248–260. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1519-99402014000100002>.

Ventura-aguilar, R.I., Bosquez-molina, E., Bautista-baños, S., Rivera-cabrera, F., 2017. Cactus stem (Opuntia ficus-indica Mill): Anatomy, physiology and chemical composition with emphasis on its biofunctional properties R.I. J. Sci. Food Agric. 97, 1–23. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8493>.

Veriato, F.T., Pires, D.A. de A., Tolentino, D.C., Alves, D.D., Jayme, D.G., Moura, M.M.A., 2018. Fermentation characteristics and nutritive values of sorghum silages. Acta Sci. Anim. Sci. 40, 1–8. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v40i1.34458>.

4 CAPÍTULO 1 - SILAGEM MISTA DE CAPIM-BRS CAPIAÇU E MILHO MOÍDO ASSOCIADA COM DIFERENTES NÍVEIS DE PALMA FORRAGEIRA: EFEITOS SOBRE A ESTABILIDADE AERÓBIA, PERFIL FERMENTATIVO, COMPOSIÇÃO QUÍMICA E DIGESTIBILIDADE

MIXED SILAGE OF BRS CAPIAÇU GRASS AND GROUND CORN ASSOCIATED WITH DIFFERENT LEVELS OF FORAGE CACTUS: EFFECTS ON AEROBIC STABILITY, FERMENTATION PROFILE, CHEMICAL COMPOSITION AND DIGESTIBILITY

RESUMO

O capim-BRS capiaçu e a palma forrageiras são plantas adaptadas ao clima semiárido e apresentam potencial para produção de silagens. Contudo, existem lacunas no conhecimento quanto a qualidade da silagem produzida. Assim, objetivou-se avaliar diferentes proporções de palma forrageira na ensilagem com o capim-BRS capiaçu associado com 10% de inclusão de milho grão moído sobre a estabilidade aeróbia, perfil fermentativo, composição química e digestibilidade. Os tratamentos consistiram na inclusão de palma forrageira (*Opuntia* spp.) em níveis crescentes de 0, 15, 30, 45 e 60% da matéria natural na ensilagem com o capim-BRS capiaçu com 10% de milho grão moído. Ainda, utilizou-se a silagem controle composta por capim-BRS capiaçu sem milho moído. Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado com seis tratamentos e oito repetições. O capim-BRS capiaçu foi colhido aos 102 dias de rebrotação. Para ensilagem, foram utilizados silos experimentais de PVC, de pesos conhecidos, com 50 cm de comprimento e 10cm de diâmetro.

Palavras-chave: digestibilidade; nitrogênio amoniacal; pH; proteína bruta; teor de matéria seca

ABSTRACT

BRS capiaçu grass and forage cactus are plants adapted to the semiarid climate and have potential for silage production. However, there are gaps in knowledge regarding the quality of the silage produced. Thus, the objective of this study was to evaluate different proportions of forage cactus in ensilage with BRS capiaçu grass associated with 10% inclusion of ground corn grain on aerobic stability, fermentation profile, chemical composition and digestibility. The treatments consisted of the inclusion of forage cactus

(*Opuntia* spp.) at increasing levels of 0, 15, 30, 45 and 60% of the natural matter in ensilage with BRS capiaçu grass with 10% ground corn grain. In addition, the control silage composed of BRS capiaçu grass without ground corn was used. A completely randomized design with six treatments and eight replicates was used. The BRS capiaçu grass was harvested at 102 days of regrowth. Experimental PVC silos of known weights, 50 cm long and 10 cm in diameter, were used for ensiling.

Keywords: digestibility; ammoniacal nitrogen; pH; crude protein; dry matter content

4.1 INTRODUÇÃO

Em várias regiões do mundo a produção de silagem é fundamental para alimentar os animais e garantir a produção de leite e/ ou carne, couro e lã para os seres humanos. Tradicionalmente, a dieta padrão de ruminantes no Brasil é baseada em plantas forrageiras (Monção et al., 2020; Cordeiro et al., 2023; Alencar et al., 2023). Contudo, a produção de forragem não é constante ao longo do ano, o que destaca a produção de silagem como atividade agrícola importante nas fazendas (Souza et al., 2023; Alencar et al., 2023), principalmente na região semiárida do Brasil que apresenta até 10 meses sem chuvas (Monção et al., 2019; Cordeiro et al., 2023).

Em diversas regiões do mundo, o capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) tem sido utilizado para produção de silagem (Borges et al., 2019; Monção et al., 2020; Ribas et al., 2021). O capim-elefante é uma gramínea de origem Africana, perene e se destaca pela elevada quantidade de massa verde por unidade área, o que justifica seu elevado uso nas fazendas como fonte alimentar para os animais ruminantes. No Brasil, os genótipos de capim-elefante de alto porte, quando bem manejados, produzem acima de 30 t ha⁻¹ de matéria seca (MS) ao longo do ano. O capim-BRS capiaçu, um híbrido de capim-elefante, tem potencial para produção anual de até 72 t ha⁻¹ de MS, sendo a média de 50 t ha⁻¹ de MS (Pereira et al., 2017; Monção et al., 2019; Monção et al., 2020). Apesar da alta produtividade de massa, o capim-BRS capiaçu apresenta baixo teor de MS (menor que 250 g kg⁻¹ de MS) e carboidratos solúveis em água como limitantes para produção de silagem no momento da colheita. Várias estratégias podem ser utilizadas para aumentar o teor de MS no capim-BRS capiaçu como o

emurchecimento (Ribas et al., 2021), uso de resíduos industriais desidratados (Silva et al., 2021) e cereis como o milho moído (Paula et al., 2020). O milho moído (1-2mm) com 880 g kg⁻¹ de MS é um aditivo sequestrante de umidade e pode contribuir para aumentar o teor de MS e qualidade fermentativa da silagem de capim-BRS capiaçu (Paula et al., 2020). Contudo, o milho moído tem baixo teor de carboidratos solúveis em água (menor que 200 g kg⁻¹ de MS). Os carboidratos solúveis em água é um substrato fundamental para que as bactérias ácido-láticas produzam ácido lático. O ácido lático devido ao seu baixo PKa reduz rapidamente o pH da massa ensilada (Kung Jr et al., 2018), o que é importante no processo de conservação dos nutrientes da massa ensilada.

A palma forrageira (*Opuntia* ou *Nopalea*) é rica em carboidratos solúveis em água, minerais e vitaminas e pode contribuir na produção de silagem mista de capim-BRS capiaçu (Monção et al., 2020; Alencar et al., 2023). De acordo com Cordeiro et al. (2023), a palma forrageira apresenta 100 g kg⁻¹ de matéria seca, 50 g kg⁻¹ de proteína bruta, 650 g kg⁻¹ de nutrientes digestíveis totais e 350 g kg⁻¹ de carboidratos solúveis em água. A utilização de palma forrageira para produção de silagem mista ainda é uma novidade na literatura e no meio rural. Mas, esse manejo de ensilagem da palma forrageira pode contribuir na concentração da mão de obra na fazenda para colheita, melhora a produtividade do palmar e o manejo sanitário. Contudo, não está definido o nível adequado de inclusão da palma forrageira quando se pretende ensilar com o capim-BRS capiaçu, tendo em vista o elevado teor de umidade da mesma (acima de 800 g kg⁻¹ de MS). De acordo com Monção et al. (2020), quando a palma forrageira é triturada, o conteúdo de água fica mais exposto, o que contribui para aumentar as perdas por efluentes. Todavia, quando a palma forrageira foi fatiada/picada (fatiadora própria para palma forrageira deixando partícula de 2 a 5 cm sem macerar), Os cuidados em relação ao tamanho de partícula devem se concentrar em se evitar a maceração dos cladódios para não se intensificar a liberação de água que fica ligada a mucilagem, Alencar et al. (2023) e Cordeiro et al. (2023) utilizaram 40% de inclusão da palma forrageira na ensilagem com o capim-BRS capiaçu. Os autores justificaram que na palma forrageira fatiada a água fica presa na mucilagem, o que contribui para menor produção de efluentes. Com base no exposto, hipotetiza-se que há uma proporção adequada de palma forrageira fatiada a ser misturada no capim-BRS capiaçu associado com milho

moído no momento da ensilagem que irá melhorar o perfil fermentativo e o valor nutricional da silagem produzida.

Sendo assim, objetivou-se avaliar o nível de inclusão da palma forrageira na ensilagem com o capim-BRS capiaçu com 10% de milho moído, sobre o perfil fermentativo e valor nutricional da silagem.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

Declaração de ética

Os procedimentos de cuidado e manejo dos animais que foram utilizados no experimento estão de acordo com diretrizes da Comissão de Ética no uso de animais (CEUA) da Universidade Estadual de Montes Claros (protocolo nº 222/2020).

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 de 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.

Tratamentos e delineamento experimental

Foram utilizados silos experimentais para confecção das silagens de capim-BRS Capiáçu (*Pennisetum purpureum* Schum) com inclusão de diferentes níveis de palma forrageira cv. Gigante (*Opuntia ficus indica* Mill) no momento da ensilagem. O experimento foi conduzido seguindo o delineamento inteiramente casualizado, com seis tratamentos (0, 15, 30, 45 e 60 % de inclusão de palma) e oito repetições. Aos tratamentos com inclusão de palma foram adicionados 10% de milho grão moído (1-2mm) da matéria natural da massa forrageira. Além disso, foi analisado o tratamento controle somente a silagem de capim-BRS capiaçu. Todos os alimentos volumosos foram obtidos da Fazenda Experimental da UNIMONTES e as análises foram realizadas no

Laboratório de Análise de Alimentos e Nutrição Animal da UNIMONTES/Campus Janaúba.

Manejo das forrageiras

O capim-BRS capiaçu foi estabelecido em 2016 em uma área plana de 50 m x 100m. 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⁻¹ de nitrogênio na forma de ureia e 60 kg ha⁻¹ 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 102 dias de rebrotação.

A palma forrageira variedade Gigante foi implantada no ano de 2014, numa área de 250 m², em um solo da classe latossolo vermelho-amarelo eutrófico. A colheita foi realizada manualmente sem remover o cladódio primário.

Produção de silagem

Silos experimentais de polyvinyl chloride (PVC) de peso conhecido, com 50 cm de comprimento e 10 cm de diâmetro foram utilizados no processo de ensilagem. No fundo dos silos foi colocado uma camada de areia grossa seca (500 g/silo) separada da forragem por um Tecido não tecido (TNT, gramatura 100) para drenagem dos efluentes produzidos. O material resultante de cada tratamento foi depositado nos silos e compactado com um êmbolo de madeira. Para cada tratamento, a silagem teve densidade média de 550 kg de material natural m⁻³, 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 abertos 113 dias após a ensilagem. Não foi utilizado inoculante microbiano.

Estabilidade aeróbica

A estabilidade aeróbica foi determinada colocando uma amostra de silagem (aproximadamente 2,5 kg) em um minissilo e mantendo-a em uma sala com temperatura controlada, variando de 25,0 °C a 25,5 °C. A temperatura da silagem foi

monitorada de hora em hora usando um registrador de dados posicionado no centro da massa, durante nove dias. Simultaneamente, a temperatura ambiente foi registrada de hora em hora usando um registrador de dados posicionado próximo aos minissilos. A estabilidade aeróbica foi definida como o número de horas em que a temperatura da silagem permaneceu estável antes de aumentar em mais de 2 °C acima da temperatura ambiente (Moran et al., 1996).

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 (Tecnal®, Piracicaba, São Paulo, Brasil) e o N-NH₃ foi mensurado conforme Detmann et al. (2021). Os ácidos orgânicos 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 RezexTM 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 de soluções de ácidos orgânicos foram usados para fins quantitativos de calibração.

Perdas e recuperação de matéria seca da silagem

As perdas de MS na silagem na forma de gás e efluente foram quantificadas pela diferença de peso segundo Jobim et al. (2007). As perdas de efluente foram calculadas conforme a equação 1, da seguinte forma: $E = (Wop - SWen) / (GREM) \times 1000$, (1) em que E = produção de efluente (kg/ton de massa verde), Wop = peso definido (balde cheio + tampa + areia úmida + espuma) na abertura do silo (kg), SWen = peso definido (balde cheio + tampa + areia seca + espuma) na ensilagem (kg), e GREM = massa de forragem verde ensilada (kg).

As perdas de matéria seca na forma de gases foram calculadas de acordo com a equação (2): $G = [(Wen - SWen) \cdot DMen] - [(Wop - SWen) \cdot DMop] \times 100 / [(Wen - SWen) \cdot DMen]$, onde G = perdas de gases (% da MS), Wen = peso do balde cheio na ensilagem (kg), DMen = teor de matéria seca da forragem na ensilagem e DMop = teor de matéria seca da forragem na abertura do silo. A recuperação de MS para cada silo foi

calculada com base nos pesos inicial e final e nos teores de MS das forragens e silagens de acordo com Jobim et al. (2007).

Composição química

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 2 mm de diâmetro e uma parte destas foi então moída para tamanho de partículas de 1 mm, para análises laboratoriais. A porção da amostra com 2 mm de diâmetro foi utilizada 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), 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). Ainda, 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 carboidratos não fibrosos, seguindo as recomendações descritas por Detmann et al. (2021). Os carboidratos totais (CT) foram determinados conforme Sniffen et al. (1992). O teor de nutrientes digestíveis totais (NDT) foi estimado de acordo com NRC (2001). A composição química do capim-BRS capiaçu, da palma forrageira e do milho grão moído antes da ensilagem pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1. Composição químico-bromatológica do capim-BRS capiaçu, da palma forrageira e do milho grão moído antes da ensilagem

Item (g kg ⁻¹)	Capim-BRS capiaçu ¹	Palma forrageira ²	Milho
Matéria seca	226	100,2	908
Cinzas	107,8	143	17
Proteína bruta	78	51	92
Extrato etéreo	11	19,1	45
Fibra em detergente neutro	704	290,8	166
Fibra em detergente ácido	441	184,2	29,7
Lignina	83	22,5	27,7
Fibra em detergente neutro indigestível	410	180	100
Carboidratos totais	803,2	786,9	870
Carboidratos não fibrosos	89,6	496,1	704
Nutrientes digestíveis totais ³	500	630	861

¹ Colheita aos 102 dias de rebrotação; ² *Opuntia ficus indica* Mill colhida com 512 dias de rebrotação; ³

Estimado de acordo com NRC (2001)

Digestibilidade in vitro

A digestibilidade *in vitro* da matéria seca e da fibra em detergente neutro foi determinada de acordo com a metodologia descrita por Tilley e Terry (1963). Foi utilizada a incubadora *in vitro* do Tecnal® (TE-150; Piracicaba, SP, Brasil), com modificação do material do saco utilizado (10,0 x 10,0 cm), confeccionado com TNT (100 g m⁻²). O método utilizado para a digestibilidade *in vitro* simula uma digestão ruminal por 48 horas, seguida de uma digestão com pepsina e ácido fraco (pH) por mais 48 horas.

Análises estatísticas

Os dados referentes ao perfil fermentativo, ácidos orgânicos, composição química e digestibilidade *in vitro* foram submetidas à análise de variância e de regressão utilizando o programa SISVAR® a 5% de probabilidade, segundo 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;

μ = média de todas as 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 δ².

Os níveis de inclusão da palma forrageira na ensilagem do capim elefante BRS capiaçu nas dietas foram comparados pela decomposição da soma dos quadrados em contrastes lineares ortogonais e efeitos quadráticos, a 5% de probabilidade, com ajustes subsequentes das equações de regressão. Os valores médios foram considerados diferentes quando $\alpha < 0,05$. Para análise exploratória dos dados por meio da análise de componentes principais (ACP) foi utilizado o software PAST® 4.03 (Hammer et al., 2001).

4.3 RESULTADOS

Houve interação ($p < 0,01$) das silagens e o tempo após abertura dos silos sobre os valores de temperatura (Figura 1). A temperatura das silagens dentro dos tempos 0, 24, 48, 72 e 96 horas, independente da inclusão ou não de palma forrageira não diferiram entre si com média de 25.26, 25.26, 25.79, 25.73 e 25.86°C, respectivamente. Dentro dos tempos 120, 144 e 168 horas após abertura dos silos foi verificado maior temperatura na silagem controle (média de 26,67°C) em comparação às demais (média de 25,72°C). A quebra da estabilidade aeróbia da silagem sem palma forrageira (capim-BRS capiaçu com 10% de milho moído) ocorreu 144 horas após abertura do silo. As silagens de capim-BRS capiaçu e 10% de milho grão moído com diferentes níveis de palma forrageira apresentaram quebra de estabilidade após 192 horas de abertura dos silos.

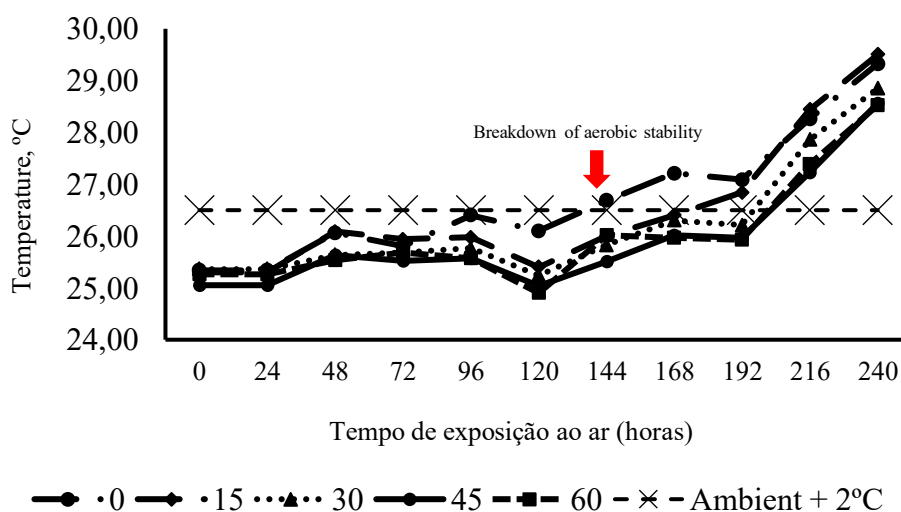


Figura 1. Valores médios da temperatura durante a estabilidade aeróbia de silagens de capim-BRS capiaçu com 10% de milho grão moído associada com níveis crescentes de palma forrageira em diferentes tempos após a abertura dos silos (interação dos tratamentos e tempos após a abertura: $P < 0,01$).

Após 240 horas de exposição aeróbica, houve diferença entre o pH das silagens. À medida que aumentou 1% de inclusão de palma forrageira na ensilagem com o capim-BRS capiaçu, houve acréscimo de 0,012 unidades no pH da massa ensilada (Figura 2).

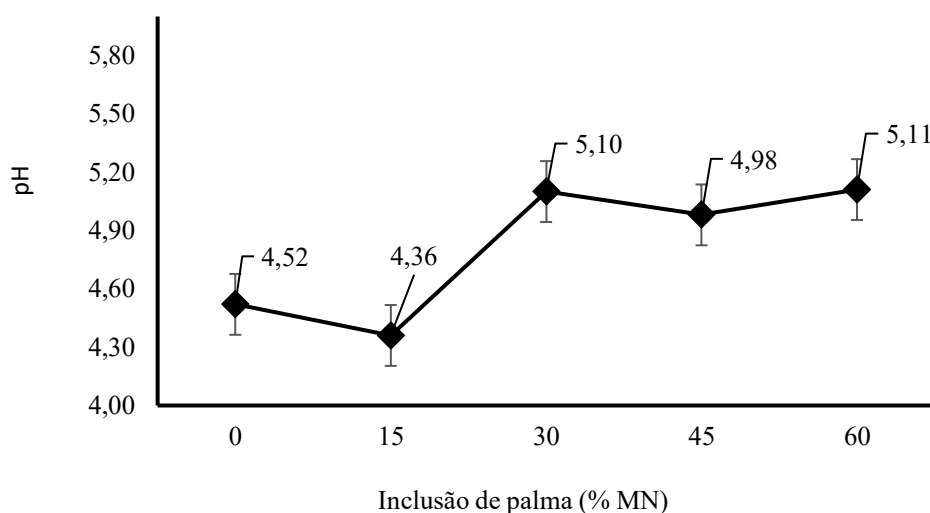


Figura 2. Valores médios de pH após 240 horas de exposição aeróbia de silagens de capim-BRS capiaçu com 10% de milho moído associado com níveis crescentes de palma forrageira ($\hat{Y} = 4,4 + 0,012 * X$; $R^2 = 0,67$).

Não houve diferença entre as silagens dentro dos tempos de exposição aeróbica (Figura 3). À medida que aumentou os tempos de exposição aeróbica das silagens houve alteração nos valores de pH. Para cada 1 hora após abertura do silo houve acréscimo de 0,12 unidades no valor de pH.

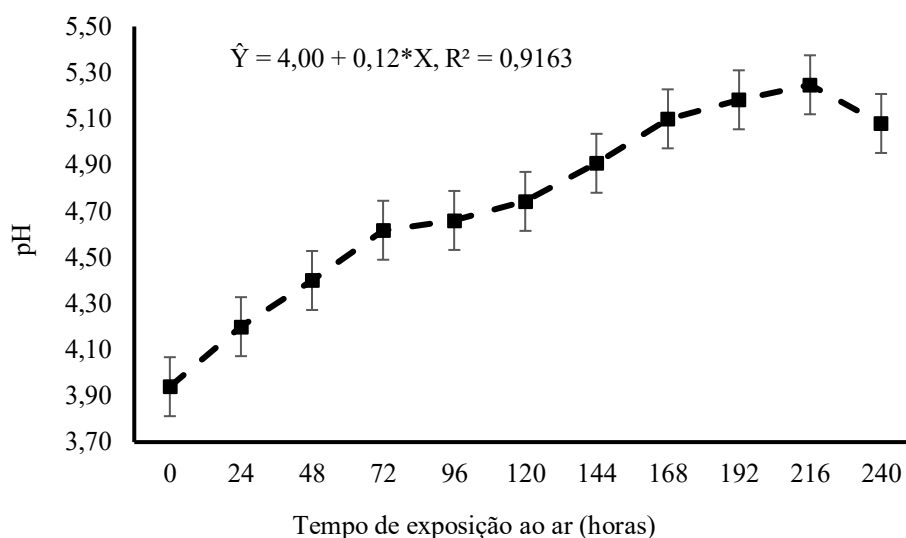


Figura 3. Valores de pH de silagens de capim-BRS capiaçu com 10% de milho moído associada com níveis crescentes de palma forrageira registrados em momentos diferentes após a abertura do silo.

Não houve diferença entre a silagem de capim BRS capiaçu (sem aditivos; controle) e a silagem de capim-BRS capiaçu com 10% de milho moído associado com níveis de palma forrageira sobre os valores de pH ($P>0,05$) e perdas por gases ($P>0,05$). A inclusão de palma forrageira na ensilagem com o capim BRS-capiaçu com 10% de milho grão moído proporcionou aumento linear no valor de pH ($P<0,01$) da silagem produzida. Houve aumento também no teor de nitrogênio amoniacal ($P<0,01$) e nas perdas por efluentes ($P<0,01$; Tabela 2). Para cada unidade percentual de inclusão de palma forrageira, houve aumento de 0,02 unidades no pH, 0,27% do nitrogênio amoniacal e $1,39 \text{ kg t}^{-1}$ MN nas perdas por efluentes do material ensilado. As silagens de capim BRS capiaçu com 30, 45 e 60% de palma forrageira apresentaram maiores perdas nitrogênio amoniacal em comparação a silagem controle ($P<0,05$). As maiores perdas por gases foram verificadas na silagem controle. Entre as silagens com inclusão de palma forrageira, não houve diferença sobre as perdas por gases ($P=0,46$; média de 8,76% da MS) e recuperação da MS ($P=0,43$; média de 97,70%).

Tabela 2. Perfil fermentativo das silagens de capim-BRS capiaçu com 10% de milho grão moído associada com níveis crescentes de palma forrageira (*Opuntia* spp.)

Item	Controle	Inclusão de palma (% MN)					EPM	P-valor	
		0	15	30	45	60		Linear	Quad
pH ¹	4,25	3,23	3,48	4,17	4,37	4,42	0,18	<0,01	0,47
Nitrogênio amoniacal, %NT ²	7,12	10,23	7,45	15,78*	20,64*	24,57*	2,47	<0,01	0,29
Perdas por gases, % MS ₃	10,03	7,83	7,16	10,71	8,99	9,11	1,34	0,31	0,46
Perdas por efluentes, kg t ⁻¹ MN ⁴	63,29	17,19*	21,87*	53,00	83,70*	90,80*	5,60	<0,01	0,83
Recuperação da MS, % ⁵	91,97	98,06 *	98,29*	97,12 *	97,07*	97,96*	0,57	0,43	0,26

pH – valores na abertura; NT – Nitrogênio total; MS – Matéria seca; MN – Matéria natural; EPM – Erro padrão da média; P – Probabilidade. * Médias diferem da silagem controle (Silagem de capim-BRS capiaçu sem milho moído) pelo teste de Dunnet (P<0,05).

Equações: ¹Y = 3.28 + 0.0218*X, R² = 0.9033; ²Y = 7.35 + 0.2793*X, R² = 0.8720; ³Y = = 11.50 + 1.3936*X, R² = 0.9455

A silagem controle apresentou maior concentração de ácido láctico em comparação aos tratamentos com 30, 45 e 60% de inclusão de palma forrageira. A inclusão de palma forrageira na ensilagem com o capim-BRS capiaçu modificou a concentração de ácidos orgânicos na MS (Tabela 3). Para cada 1% de inclusão de palma forrageira, houve redução de 0,12 unidade percentuais no teor de ácido láctico (P<0,01). Não houve diferença entre as silagens sobre os teores de ácido acético (P=0,91; média de 2,22% da MS). As médias para o teor de ácido butírico (P=0,02) ajustaram-se ao modelo quadrático de regressão com ponto de máximo em 43,35% de inclusão de palma forrageira. A relação dos ácidos láctico-acético reduziu linearmente (P<0,01) em 0,0562% para cada percentual de inclusão de palma forrageira. O teor de etanol (P=0,01) nas silagens aumentou linearmente com inclusão de palma forrageira.

Tabela 3. Teores de ácidos orgânicos da silagem de capim-BRS capiaçu com níveis crescentes de palma forrageira (*Opuntia* spp.).

Item (% MS)	Controle	Inclusão de palma (% MN)					EPM	P-valor	
		0	15	30	45	60		Linear	Quad
Ácido láctico ¹	7,56	7,68	9,49	4,34*	3,44*	1,56*	0,87	<0,01	0,34
Ácido acético ²	1,67	2,19	2,45	1,85	2,58	2,07	0,27	<0,01	<0,01
Ácido butírico ³	0,59	1,04	0,94	2,42*	2,07*	1,72*	0,26	<0,01	0,02
Relação láctico-acético ⁴	4,60	3,66	3,85	2,06*	1,41*	0,65*	0,33	<0,01	0,54
Etanol ⁵	0,62	2,43	1,71	5,90*	5,28*	5,02*	0,75	0,06	<0,01

MN – Matéria natural; MS – Matéria seca; EPM – Erro padrão da média; P – Probabilidade. * Médias diferem da silagem controle (Silagem de capim-BRS capiaçu sem milho moído) pelo teste de Dunnet (P<0,05).

Equações: ¹Y = 8.96 – 0.1219*X, R² = 0.8042; ²Y = 0.81 + 0.0607*X – 0.0007*X², R² = 0.6123; ³Y = 4.01 – 0.0562*X, R² = 0.9147; ⁴Y = 2.32 + 0.0585*X, R² = 0.5482.

O teor de MS, carboidratos não fibrosos (CNF), nutrientes digestíveis totais (NDT), digestibilidade *in vitro* da MS e digestibilidade *in vitro* da fibra em detergente neutro foi menor na silagem controle em comparação as demais silagens (Tabela 4). Verificou-se efeito linear para todas as variáveis analisadas quanto a composição química. Os teores de cinzas (P<0,01), CNF (P=0,04) e nutrientes digestíveis totais (P<0,01) apresentaram efeito linear crescente com aumentos de 0.0416, 0.2255 e 0.2353%, respectivamente, para cada percentual de inclusão da palma forrageira na ensilagem com o capim-BRS capiaçu. Para cada unidade percentual de inclusão de palma forrageira, houve redução de 0.1195% no teor de matéria seca (MS), 0.0081% para proteína bruta (PB), 0.2591% para o teor de fibra em detergente neutro, 0.2725% para o teor de fibra em detergente neutro corrigido para cinzas e proteína, 0.1963% para o teor de fibra em detergente ácido e 0.0337% nos carboidratos totais.

Tabela 4. Composição química e digestibilidade dos nutrientes da silagem de capim-BRS capiaçu com níveis crescentes de palma forrageira (*Opuntia* spp.)

Item (%)	Controle	Inclusão de palma (% MN)					EPM	P-valor	
		0	15	30	45	60		Linear	Quad
Composição química, %									
MS ¹	22,66	29,57*	28,09*	24,73*	23,75*	22,78	0,61	<0,01	0,14
Cinzas ²	11,17	7,27*	5,90*	8,58*	9,06*	8,81*	0,72	<0,01	0,45
PB ⁴	7,46	8,39	8,22	8,00	8,18	7,80	0,15	0,02	0,96
FDN ⁵	71,35	49,83*	45,20*	43,31*	39,33*	33,33*	1,61	<0,01	0,17
FDNcp	61,24	39,72*	36,82*	32,86*	28,55*	23,42*	1,51	<0,01	0,41
FDA ⁸	45,63	30,51*	28,31*	26,99*	22,59*	18,65*	1,14	<0,01	0,13
Hemicelulose ⁹	25,71	19,32*	16,88*	16,31*	16,74*	14,68*	0,82	0,01	0,57
Carboidratos totais ¹²	80,27	81,59	83,11*	80,66	79,99	80,63	0,75	0,04	0,99
CNF ¹³	8,92	31,74*	37,91*	37,34*	40,65*	47,29*	1,69	<0,01	0,45
NDT ¹⁴	56,67	62,38*	65,66*	64,91*	71,86*	76,93*	2,28	<0,01	<0,01
Digestibilidade in vitro, %									
DIVMS ¹⁵	55,20	60,06*	62,86*	62,22*	68,15*	72,47*	1,94	<0,01	0,19
DIVFDN ¹⁷	53,61	58,48*	61,76*	59,88*	65,81*	65,61*	2,05	0,41	0,68

MN – Matéria natural; FDNpd – Fibra insolúvel em detergente neutro potencialmente digestível; DIVMS – Digestibilidade *in vitro* da matéria seca; DIVFDN – Digestibilidade *in vitro* da fibra em detergente neutro. EPM – Erro padrão da média; P – Probabilidade. * Médias diferem da silagem controle (Silagem de capim-BRS capiaçu sem milho moído) pelo teste de Dunnet (P<0,05).

Equações: ¹Y = 29,368 - 0,1195*X, R² = 0,9466; ²Y = 6,68 + 0,0416*X, R² = 0,5553; ³Y = 8,362 - 0,0081*X, R² = 0,7322; ⁴Y = 49,98 - 0,2591*X, R² = 0,9724; ⁵Y = 40,458 - 0,2725*X, R² = 0,9901; ⁶Y = 31,304 - 0,1963*X, R² = 0,9567; ⁷Y = 18,674 - 0,0627*X, R² = 0,8018; ⁸Y = 82,208 - 0,0337*X, R² = 0,4309; ⁹Y = 32,224 + 0,2255*X, R² = 0,8942; ¹⁰Y = 61,296 + 0,2353*X, R² = 0,8855; ¹¹Y = 59,138 + 0,2007*X, R² = 0,8855.

As médias referentes a digestibilidade *in vitro* da MS (P<0,01) ajustaram-se ao modelo linear crescente de regressão. Para cada 1% de inclusão de palma forrageira na ensilagem com o capim-BRS capiaçu, houve acréscimo de 0,2007 unidades percentuais na digestibilidade da MS. Não houve diferença entre as silagens sobre a digestibilidade *in vitro* da FDN (P=0,68; média de 62,30%).

Quanto aos componentes principais (PC), verificou-se pelo *Scree plot* que dentre os 22 PC gerados, cinco apresentaram variância acima de 1%. Os dois PC mais importantes explicaram 87,11% da variação total dos resultados. Os maiores autovalores gerados pela matrix de correlação foram observados no PC1 (56,43%) e PC2

(33,65%). Conforme observado na Figura 4, as variáveis dependentes RMS, PB e teor de ácido acético apresentaram maiores coeficientes positivos dentro do PC1 e PC2 conjuntos. A silagem de capim BRS capiaçu com 45 e 60% de palma forrageira apresentaram maiores autovalores para variáveis nitrogênio amoniacal (0,2406), perdas por efluentes (0,1121), digestibilidade *in vitro* da MS (0,2673) e digestibilidade *in vitro* da FDN (0,2714). Verificou-se que houve correlação negativa entre o teor de MS e as perdas por efluentes e teor de nitrogênio amoniacal. Observou-se que houve correlação negativa entre o teor de FDN e a digestibilidade *in vitro* da MS e teor de NDT.

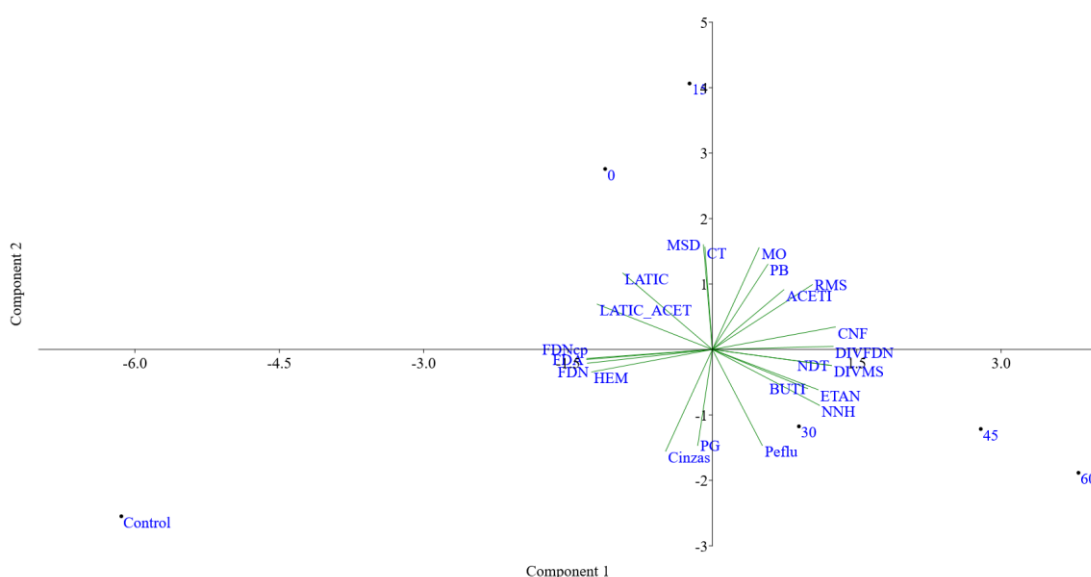


Figura 4. Representação esquemática do primeiro (CP1; 56,43%) e segundo (CP2; 33,65%) componentes principais da análise das características avaliadas.

Em relação a análise *Cluster*, verificou-se a formação de três grupos com maior distância Euclidiana onde as silagens com 45 e 60% de inclusão de palma apresentaram variáveis com comportamento semelhante entre si. Assim como, nas silagens com 0, 15 e 30% de inclusão de palma forrageira (Figura 5).

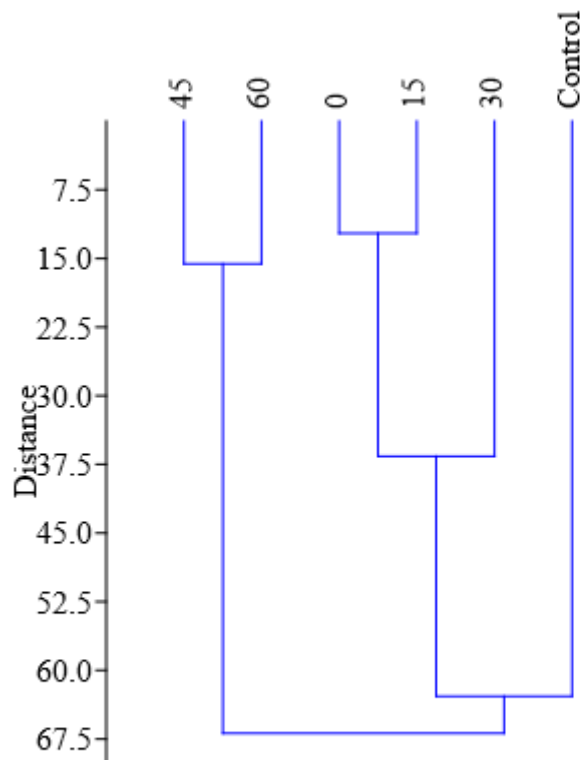


Figura 5. Análise de *Cluster* para as silagens de capim-BRS capiaçu sem e com 10% de milho grão moído associada com níveis crescentes de palma forrageira (*Opuntia* spp.).

4.4 DISCUSSÃO

Há vários fatores nas fazendas que justificam a ensilagem de plantas forrageiras como o capim-BRS capiaçu e a palma forrageira. Na região semiárida do Brasil, a alta produtividade dessas duas forragens é um desses fatores visando armazenar alimentos para os animais para épocas específicas como o período da seca. A ensilagem do capim-BRS capiaçu com palma forrageira permite a concentração de mão de obra na colheita de todo palmal, padronizando e aumentando a capacidade de rebrotação e produtividade de massa. Além disso, pode reduzir o manejo de corte e abastecimento da palma forrageira durante todo o período de estiagem (Borges et al., 2019; Brito et al., 2020; Cordeiro et al., 2023). Quanto ao capim-BRS capiaçu, a colheita é mecanizada, o que favorece o manejo de corte. No entanto, uma proporção adequada dessas forrageiras em uma silagem mista deve ser avaliada, visto que o excesso ou a falta de

palma forrageira na ensilagem com gramíneas tropicais pode resultar em perdas de nutrientes e redução da estabilidade aeróbica das silagens (Brito et al. 2020; Monção et al., 2020; Alencar et al., 2023).

Nesta pesquisa, o uso de palma forrageira na ensilagem com o capim-BRS capiaçu aumentou o tempo para quebra da estabilidade aeróbica da silagem. O maior tempo para quebra da estabilidade aeróbica nas silagens pode ser justificada pela concentração de ácido acético que age sobre o crescimento, principalmente de fungos filamentosos e leveduras (Kung Jr et al., 2018). Nesta pesquisa, não houve diferença entre as silagens sobre o teor de ácido acético. Assim, fatores como concentração de ácido propiônico (Brito et al., 2020) e substâncias antimicrobianas (Ortiz-Rodríguez et al., 2016) presentes na mucilagem da palma forrageira podem justificar o maior tempo para quebra da estabilidade aeróbica e aumento de pH nas silagens com maiores proporções desse alimento durante a estabilidade aeróbica.

Uma novidade verificada neste estudo é que a inclusão de 10% de milho moído na ensilagem do capim-BRS capiaçu aumentou a recuperação da matéria seca em comparação a silagem controle. Essa maior recuperação pode estar associada ao efeito sequestrante de umidade do capim-BRS capiaçu pelo milho moído devido ao maior teor de MS. Silva et al. (2021) também verificam melhoria na recuperação da matéria seca da silagem de capim BRS capiaçu com a inclusão de fenos de resíduos da bananicultura devido ao alto teor de MS.

A inclusão de palma forrageira na ensilagem com o capim-BRS capiaçu aumentou o pH da silagem no momento da abertura do silo. A palma forrageira é rica em minerais e esses na forma ionizável (K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+}) agem com alta capacidade tampão, impedindo a variação de pH da massa ensilada, o que justifica os resultados dessa pesquisa, principalmente quando se observa o teor de cinzas. Normalmente, no momento da ensilagem, o pH das plantas forrageiras são próximos da neutralidade e espera-se que durante a fase anaeróbica da silagem ocorra redução para valores entre 3,8 a 4,2 (Kung Jr et al., 2018). Com a ensilagem de palma forrageira, os cátions (K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+}) entram em contato com os ácidos orgânicos formados pela fermentação (lático, acético, propiônico, butírico), neutraliza-os e evita a ocorrência de queda de pH (Brito et al., 2020; Dubeux et al., 2021). Contudo, os valores de pH observados (3,23 a

4,42) são considerados adequados para silagens bem fermentadas (McDonald et al., 1991).

Além do pH, o teor de nitrogênio amoniacal (N-NH_3) da silagem é um parâmetro indicativo do processo fermentativo. Os teores de N-NH_3 aumentaram linearmente com a inclusão da palma forrageira, o que é uma perda de nitrogênio da massa ensilada. Essas perdas de nitrogênio ocorrem via fermentações secundárias na massa ensilada. De acordo com McDonald et al. (2001), considera-se altas concentrações de N-NH_3 total nas silagens valores acima de 10%. Essas altas concentrações são devido à queda lenta do pH durante a fase anaeróbica e indicam silagens pouco fermentadas como verificados na silagem com inclusão de palma forrageira acima de 30%. As da silagem e bactérias proteolíticas se desenvolvem e retiram aminoácidos da molécula de proteína diluem o N-NH_3 em meio aquoso na forma de efluentes. A quantidade de nitrogênio amoniacal presente nas silagens é uma forma de observação da atividade proteolítica, sendo um indicador indireto da atividade clostridial, e que pode contribuir para a elevação do pH da silagem (Brito et al., 2020), conforme verificado nesta pesquisa para silagens com níveis acima de 30% de inclusão de palma forrageira. No entanto, verificou-se que mesmo com a alta perda de nitrogênio amoniacal nas silagens com inclusão de palma forrageira acima de 30%, o teor de proteína bruta não reduziu acentuadamente e a silagem com 60% de palma forrageira apresentou menor valor dessa variável.

Observou-se que não houve diferenças nas perdas por gases (média de 8,76% da MS), mas silagens com inclusão acima de 45% de palma forrageira apresentaram mais de 83,70 kg t^{-1} MN de perdas por efluentes. As perdas de MS na silagem não são desejáveis, contudo, em silagens de gramíneas tropicais são verificados valores próximos de 100 kg t^{-1} MN. Alencar et al. (2023) verificaram perdas por efluentes na ordem de 78.70 kg t^{-1} MN em silagem de capim BRS capiaçu com 40% de palma forrageira. Monção et al. (2020) observaram perdas de 61,24 kg t^{-1} MN em silagem de capim BRS capiaçu com 20% de palma forrageira triturada. Elevadas perdas por efluentes é indicativo de atividade bacteriana do gênero *Clostridium* que fermentam os nutrientes e convertem em ácido butírico. Os menores valores de ácido butírico na silagem controle pode ser justificável pela menor quantidade de açúcares solúveis que é substrato utilizado para produção desse ácido.

Quanto à concentração dos ácidos orgânicos nas silagens, verificou-se redução linear para o ácido láctico e para a relação ácido láctico-acético. Para Kung et al. (2018) é desejável que silagens de plantas forrageiras tenham teores de ácido láctico entre 6 e 10% da MS. Nesta pesquisa, as maiores concentrações de ácido láctico foram observadas na silagem com 15% de inclusão de palma. Os menores valores foram verificados na silagem com 60%. Após o fechamento do silo, é desejável que a síntese de ácido láctico seja próxima de 10% da MS para que ocorra a redução rápida do pH da massa ensilada. Essas características indicam que a palma forrageira, devido ao alto teor de CNF, em torno de 60% da MS, forneceu energia para as bactérias ácido lácticas - LAB produzirem ácido láctico cujo valor de pKa é de 3,86, favorecendo a rápida redução do pH, importante para a conservação dos nutrientes da massa ensilada (Kung et al., 2018). Neste contexto, verificou-se também que os CNF foram utilizados para síntese de etanol nas silagens acima de 30% de inclusão de palma forrageira. Leveduras epifíticas são os principais microrganismos que apresenta rota predominante para síntese de piruvato descarboxilase acetaldeído e a redução do acetaldeído a etanol. Para McDonald et al. (1991), a produção de etanol representa perdas MS e energia na silagem. Apesar do etanol ser aproveitável como substrato energético para ruminantes, por meio da conversão a acetato no rúmen (Chalupa et al., 1964), há perda do etanol produzido durante a estocagem (Alli et al., 1982) e descarregamento do silo.

Verificou-se que a inclusão de 10% de milho moído (1-2 mm) aumentou em 13,10% o teor de MS (silagem controle vs silagem com 0, 15, 30 e 45% de inclusão de palma). O teor de MS da massa ensilada é um dos fatores de maior importância na capacidade fermentativa. O capim-BRS capiaçu no momento da colheita para ensilagem apresenta teor de MS entre 18 e 22%. Contudo, altas perdas de MS na forma de efluentes são verificadas nas fazendas com esse manejo, principalmente quando o tempo de armazenamento é superior a 120 dias. A inclusão de 10% de milho moído foi o grande diferencial para ensilagem do capim-BRS capiaçu porque aumentou o teor de MS para 29,57%. Com a inclusão de 45% de palma forrageira, o teor de MS foi para 23,75%. Para Kung Jr et al. (2018), em gramíneas tropicais, é ideal que o teor de MS seja no mínimo de 25% no momento da ensilagem para evitar maiores perdas de MS. De acordo com Ribas et al. (2021), o emurchecimento do capim-BRS capiaçu por 30 horas ao sol em colheita manual é uma opção a mais que pode favorecer na perda de umidade

do material colhido. Contudo, é possível produzir silagem de capim-BRS capiaçu com teor de MS acima de 23% com adequado perfil fermentativo (Brito et al., 2020; Alencar et al. 2023). Assim, a proporção de até 45% de palma forrageira na ensilagem com o capim-BRS capiaçu com 10% de milho moído atendeu o teor de MS e melhorou o teor de nutrientes digestíveis totais da silagem produzida.

O teor de cinzas, carboidratos não fibrosos, nutrientes digestíveis totais e digestibilidade aumentaram linearmente com a inclusão da palma forrageira. O que é justificável porque a palma forrageira é rica em minerais e carboidratos não fibrosos (Dubeux Jr. et al., 2021; Cunha et al., 2022). A produção de silagem mista de capim-BRS capiaçu com palma forrageira é mais valorizada para utilização na alimentação ruminantes em regiões com déficit hídrico como exemplo o semiárido do Norte de Minas. O ajuste no teor de MS é fundamental para conservação da massa ensilada e a umidade presente na silagem contribui para redução no consumo de água pelos animais (Borges et al., 2019; Cordeiro et al., 2023). Em regiões áridas e semiáridas, a água é um recurso hídrico limitado, o que promove competição entre homem-animal (Brito et al., 2020; Nobre et al., 2023).

Em geral, com base na análise exploratória dos dados, várias variáveis dependentes foram apontadas com maior relevância na tomada de decisão sobre a melhor proporção de inclusão da palma forrageira na ensilagem com o capim-BRS capiaçu. A silagem mista de capim-BRS capiaçu associada com 10% de milho moído e até 45% de inclusão de palma forrageira apresentaram variáveis com maiores coeficientes na tomada de decisão. Além disso, a silagem de capim-BRS capiaçu com 45% de palma forrageira apresentou destaque para melhor digestibilidade da MS e FDN como importante na decisão exploratória de dados. Com base na análise de *Cluster* fica evidente que a silagem com 45% de inclusão de palma forrageira, apresentam menor distância Euclidiana e que as características das variáveis dependentes estão próximas entre si. A silagem de capim BRS capiaçu com 60% de palma forrageira apesar os melhores resultados de digestibilidade não devem ser recomendados porque apresentou maiores perdas de MS e menor teor de MS, o que não é desejável.

4.5 CONCLUSÃO

A melhor proporção de palma forrageira na ensilagem com o capim-BRS capiaçu com 10% de milho moído é até 45% da matéria natural. Nesta proporção, as perdas fermentativas são aceitáveis e a inclusão de palma forrageira favorece a composição química e digestibilidade da silagem produzida.

O uso de 10% de milho moído na ensilagem de capim BRS capiaçu melhorou o perfil fermentativo, a composição química e a digestibilidade da matéria seca e fibra em detergente neutro.

4.6 REFERÊNCIAS

Agricultural and Food Research Council – AFRC. Technical committee on responses to nutrients report number 2, characterisation of feedstuffs: nitrogen. Nutrition Abstracts and Reviews (series B), Farnham Royal, v. 57, n. 12, p. 713-736, 1987.

Alencar, M. A. S., Rocha Júnior, V. R., Monção, F. P., Cordeiro, M. W. S., Santos, A. S., Caldeira, 281 L. A., Oliveira, L. I. S., Ananias, J. V. A., Costa, M. D., Souza, A. S., Aspiázú, I., Santos, L.C.S. 2023. 282 Quality of mixed silages of sorghum, BRS-capiaçu grass, and cactus pear in a semiarid region 283 of Brazil, Journal of Applied Animal Research, 51:719-728. 284 <https://doi.org/10.1080/09712119.2023.2277256>.

Almeida, G.A.P., de Souza Campos, J.M., de Andrade Ferreira, M., Correia, A.L.V., de Andrade, A.P., 2015. Palma (*Opuntia ficus indica* mill) cv. gigante em suplementos para fêmeas leiteiras em crescimento a pasto. Rev. Caatinga 28, 161–171.

Andrade, I. V. O., Pires, A. J. V., Carvalho, G. G. P., Veloso, C. M., & Bonomo, P. (2010). Perdas, características fermentativas e valor nutritivo da silagem de capim-elefante contendo subprodutos agrícolas. Revista Brasileira de Zootecnia, 39, 2578–2588. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1516-35982010001200004>.

Andrade, J. O. Silagem da ponta da cana-de-açúcar aditivada com resíduo de cervejaria desidratado na alimentação de ovinos. 2013. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa.

Andriguetto, J. M., Perly L., Y., & Minardi, I. (2003). *Nutrição Animal* (Vol. 66). Editora Nobel. Ávila, C. L. S., Pinto, J. C., Evangelista, A. R., Moraes, A. R., Figueiredo, H. C. P., & Tavares, V. B. (2003). Perfil de fermentação das silagens de capim-tanzânia com aditivos teores de nitrogênio amoniacal e ph. *Ciência e Agrotecnologia*, 27(5), 1144–1151. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1413-70542003000500024>.

Antonio, P. Aditivos proteicos sequestrantes de umidade na ensilagem de gramíneas tropicais. 2016. 50 f. Tese (Doutorado em Ciência Animal) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016.

Barbero, R.P, Barbosa, M.A.A.F, Castro, L.M, Ribeiro, E.L.A, Mizubuti, I.Y, Bumbieris Júnior, V.H, Silva, L.D.F, Massaro Júnior, F.L. Desempenho de novilhos de corte em pastos de capim-tanzânia sob quatro alturas de desfolha. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*. 2014;66(2):481-488. <https://doi.org/10.1590/1678-41625481>.

Bergamaschine, A.F.; Passipiéri, M.; Veriano Filho, W. et al. Qualidade e valor nutritivo de silagens de capim-marandu (*B. brizantha* cv.Marandu) produzidas com aditivos ou forragem emurhecida. *Revista Brasileira de Zootecnia*., v.35, n.4, p.1454-1462, 2006.

Brito, G.S.M.S., Santos, E.M., de Araújo, G.G.L., de Oliveira, J.S., Zanine, A. de M., Perazzo, A.F., Campos, F.S., de Oliveira Lima, A.G.V., Cavalcanti, H.S., 2020. Mixed silages of cactus pear and gliricidia: chemical composition, fermentation characteristics, microbial population and aerobic stability. *Sci. Rep.* 10, 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-63905-9>.

Brunkem, J. N. 1977. A systematic study of *Pennisetum* sect. *Pennisetum* (Graminae). *American Journal of Botany*, 64:2, 161-176. <https://doi.org/2442104>.

Cândido, M. J. D. et al. Cultivo de palma forrageira para mitigar a escassez de forragem em regiões semiáridas. *Informe Rural*, ano VII, n.3, p.1-7, 2013.

571 Castro, L.M, Barbosa, M.A.A.F, Barbero, R.P, Brito, V.C, Saad, R.M, Ribeiro, E.L.A,
 572 Mizubuti, I.Y, Bridi, AM. Produção de forragem e composição estrutural de pastos de
 573 *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés manejados em diferentes alturas de pastejo. Semina
 574 Ciências Agrárias (Online). 2013,34(6):4145-4156.
 575 <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445744138035>.
 576
 577 Cavalcante, L. A. D.; Santos, G. R. A.; Silva, L. M.; Fagundes, J. L. e Silva, M. A. 2014.
 578 Respostas de genótipos de palma forrageira a diferentes densidades de cultivo. Pesq.
 579 Agropec. Trop., 44:424-433.
 580
 581 Cordeiro, M.W.S, Rocha Júnior, V.R, Monção, F.P, Palma, M.N.N, Rigueira, J.P.S, Carvalho
 582 C.C.S, Costa, M.D, Vasconcelos D'Angelo, M.F.S.V, Costa, N.M, Oliveira, L.I.S. 2023.
 583 Silagens de gramíneas tropicais com palma forrageira em dietas de novilhas Holandês x
 584 Zebu no semiárido brasileiro. Saúde e Produção Animal Tropical 55:89.
 585
 586 Costa, R.F., Pires, D.A. de A., Moura, M.M.A., de Sales, E.C.J., Rodrigues, J.A.S., Rigueira,
 587 J.P.S., 2016. Agronomic characteristics of sorghum genotypes and nutritional values of
 588 silage. Acta Sci. - Anim. Sci. 38, 127–133.
 589
 590 Detmann E, Silva LFC, Rocha GC, Palma MNN, Rodrigues JPP. 2021. Métodos para análise
 591 de alimentos. 2ª Edição, Visconde do Rio Branco, MG: Suprema, 350p.
 592 Ditchfield, C. Estudos dos métodos para a medida da atividade de água. 2000. 195 p.
 593 Dissertação (Mestrado em Engenharia)-Escola Politécnica, Universidade de São Paulo,
 594 2000.
 595
 596 Donato, P.E.R., Pires, A.J.V., Donato, S.L.R.; Silva, J.A.S., 2014. Diferentes Espaçamentos
 597 E Doses De Esterco Bovino. Rev. Caatinga 27, 163–172.
 598
 599 Dubeux Jr., J. C. B.; Santos, M. V. F.; Cunha, M. V.; Santos, D. C.; Souza, R. T. A.; Mello, A.
 600 C. L e Souza, T. C. 2021. Cactus (*Opuntia* and *Nopalea*) nutritive value: A review. Animal
 601 Feed Science and Technology, 275:1-11.
 602 <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2021.114890>.

Fairbairn, R.; ALL, I.; Phillip, L. P. Proteolysis and amino acid degradation during ensilage of untreated of formic acid during ensilage of untreated of formic acid-treated lucerne and maize. *Grass and Forage Science*, Oxford, v. 47, n. 4 p. 382-390, 1992.

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

Fernandes, A. M. F., Bomfim, M. A. D., Santos, S. F., Mota, C. M., Gonçalves, J. L. Uso da espectroscopia no infravermelho próximo para previsão da composição químicobromatológica de palma forrageira. *Revista Agraria Academica*, Sobral - CE, v. 6, n. 1, p. 25-34, 2023. <http://dx.doi.org/10.32406/v6n1/2023/25-34/agrariacad>.

Fernandes, F. D.; Júnior, R. G.; Vieira, E. A.; Fialho, J. de F.; Carvalho, M. A.; Braga, G. J.; Fonseca, C. E. L.; Celestino, S. M. C.; malaquias, j. V. Valor nutritivo e características fermentativas da silagem de capim-elefante com diferentes proporções de raízes de mandioca. *Científica*, Dracena, SP, v. 49, n. 2, p. 92–101, 2021. DOI: 10.15361/1984-5529.2021v49n2p92-101. Disponível em: <http://cientifica.org.br/index.php/cientifica/article/view/1355>. Acesso em: 2 ago. 2025.

Fisher, D. S.; Burns, J. C. Quality analysis of summer-annual forages. II. Effects of carbohydrate constituents on silage fermentation. *Agronomy Journal*, Madison, v. 79, n. 2, p. 242-248, 1987.

Galvão Júnior, J.G.B., Da Silva, J.B.A., Moraes, J.H.G., De Lima, R.N., 2014. Palma forrageira na alimentação de ruminantes: Cultivo e utilização. *Acta Vet. Bras.* 8, 78–85.

Garcia, D. M. Análise de atividade de água em alimentos armazenados no interior de granjas avícolas. *Acta Scientiae Veterinariae*, Porto Alegre, v. 32, n. 3, p. 251-252, 2004.

634 Gonçalves, L. C. et al. Silagem de sorgo de porte baixo com diferentes teores de tanino
635 e de umidade no colmo III: quebra de compostos nitrogenados. Arquivo Brasileiro de
636 Medicina Veterinária e Zootecnia, Belo Horizonte, v. 51, n. 6, p. 571-576, 1999.

637

638 Gurgel, A. L. C., Difante, G. S., Emerenciano Neto, J. V., Souza, J. S., Veras, E. L. L., Costa,
639 A. B. G., Roberto, F. F. S. (2017). Estrutura do pasto e desempenho de ovinos em capim-
640 massai na época seca em resposta ao manejo do período das águas. Boletim de Indústria
641 Animal, 74(2):86-95.

642

643 Hammer O, Harper DAT, Ryan PD. 2001. PAST: Paleontological Statistics software
644 package for education and data analysis. Palaeontol Electronica, 4:1-9.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados desta pesquisa indicam que a qualidade da silagem de capim-BRS Capiacu pode ser significativamente melhorada com a inclusão de 10% de milho moído e até 45% de palma forrageira, nesse estudo os comportamentos com inclusão de 30 e 45% de palma forrageira foram similares, para que seja feita uma inclusão mais segura, esse autor recomenda trabalhar com inclusão de 30% de palma forrageira. Este manejo promove uma silagem com teor de matéria seca e perdas por efluentes aceitáveis e boa digestibilidade da matéria seca, aspectos que contribuem para um produto final de bom valor nutricional. A redução nas perdas por efluentes, pode ser reduzida trabalhando com o tamanho de partícula da palma maior, contribuído para reduzir o teor de água livre no silo e consequentemente melhorar a fermentação e conservação da silagem, é um fator crucial, pois minimiza o impacto ambiental e preserva os nutrientes da silagem. Além disso, o aumento no teor de matéria seca ao associar o milho moído contribui para a melhoria da fermentação e preservação do volumoso. Portanto, recomenda-se a proporção de palma forrageira na ensilagem com o capim-BRS capiaçu com 10% de milho moído de até 30% da matéria natural., como estratégia eficiente para a produção de silagem de alta qualidade, capaz de atender às demandas nutricionais dos sistemas de produção animal e melhorar a sustentabilidade do uso de forragens tropicais em sistemas de alimentação conservada.