



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA**

ROBERTO SOBRAL FÉLIX

**CARACTERÍSTICAS FERMENTATIVAS E VALOR NUTRITIVO DE
SILAGENS DE CULTIVARES DE PALMA FORRAGEIRA CONTENDO
NÍVEIS DE FENO DE LEUCENA**

**RECIFE – PE
DEZEMBRO – 2022**

ROBERTO SOBRAL FÉLIX

**CARACTERÍSTICAS FERMENTATIVAS E VALOR NUTRITIVO DE
SILAGENS DE CULTIVARES DE PALMA FORRAGEIRA CONTENDO
NÍVEIS DE FENO DE LEUCENA**

Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em
Zootecnia da Universidade Federal
Rural de Pernambuco para
obtenção do título de Mestre em
Zootecnia.

Área de concentração: Zootecnia

Orientador: Prof. Dr. Valdson José
da Silva

Coorientadores: Prof. Dr.
Alexandre Carneiro Leão de Mello
e Prof^a. Dr^a. Adriana Guim

**RECIFE
2022**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

F316c

FÉLIX, ROBERTO
CARACTERÍSTICAS FERMENTATIVAS E VALOR NUTRITIVO DE SILAGENS DE CULTIVARES DE
PALMA FORRAGEIRA CONTENDO NÍVEIS DE FENO DE LEUCENA / ROBERTO FÉLIX. - 2022.
43 f. : il.

Orientador: Valdson Jose da Silva.
Coorientador: Alexandre Carneiro Leao de Mello.
Inclui referências.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia,
Recife, 2023.

1. Ensilagem. 2. Perfil fermentativo. 3. Perdas de matéria seca. I. Silva, Valdson Jose da, orient. II. Mello,
Alexandre Carneiro Leao de, coorient. III. Título

CDD 636

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

**CARACTERÍSTICAS FERMENTATIVAS E VALOR NUTRITIVO DE
SILAGENS DE CULTIVARES DE PALMA FORRAGEIRA CONTENDO
NÍVEIS DE FENO DE LEUCENA**

Dissertação elaborada por

ROBERTO SOBRAL FÉLIX

Aprovado em 19/12/2022

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Valdson José da Silva
Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE
Departamento de Zootecnia
(Orientador)

Prof. Dr. Márcio Vieira da Cunha
Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE
Departamento de Zootecnia
(Avaliador)

Prof^a. Dr^a. Daniele Silva de Matos
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano *campus* Santa Inês – IFBAIANO
Departamento de Zootecnia
(Avaliadora)

AGRADECIMENTOS

A Deus por me fortalecer a cada dia.

Aos meus pais, Marli Sobral e José Paulo, por sempre me incentivar e me fazer continuar, mesmo com todas as dificuldades enfrentadas.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia - PPGZ, pela oportunidade da realização do Mestrado.

Ao Instituto Agrônomo de Pernambuco - IPA, em especial, ao Dr. Djalma Cordeiro dos Santos, pela disponibilização dos cultivares de palma forrageira e todo o suporte.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, juntamente com a Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco – FACEPE, pela concessão da bolsa de Mestrado dentro do Projeto CAPES/FACEPE-Biomas/UFRPE.

À Fundação Drygrow, pelo apoio financeiro para a realização do trabalho.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Valdson José da Silva, pela orientação neste trabalho e por toda contribuição nas correções e orientações para o desenvolvimento desta dissertação.

Aos meus coorientadores, Prof. Dr. Alexandre Carneiro Leão de Mello e Prof^a. Dr^a. Adriana Guim, pelas contribuições ao longo da pesquisa.

Aos meus amigos, Dayanne Camelo, Maria Aline, Lypson Simões, Williane Diniz, Italvan Macêdo, Géssica Solanna, Suellen Costa, Leticia Nascimento, Daniel Bezerra, Natalia Viana, Salmo Olegario, Darlan Silva, Isislayne Estevão e Liliane Pereira. Todos de alguma forma contribuíram para a realização do experimento e fico muito grato por isso.

RESUMO

A confecção de silagem de palma forrageira pode permitir flexibilização do uso deste importante recurso forrageiro no Semiárido. Contudo, a baixa concentração de matéria seca (MS) e elevada concentração de carboidratos solúveis pode afetar características fermentativas da silagem produzida. A inclusão de feno de leucena [*Leucaena leucocephala* (Lam.) Wit] durante o processo de ensilagem da palma forrageira pode contribuir para elevar a concentração de MS da silagem, reduzir as perdas de efluentes e melhorar as características fermentativas da silagem. O objetivo do estudo foi avaliar as características fermentativas, perdas, estabilidade aeróbia e valor nutritivo da silagem de três genótipos de palma forrageira resistentes a cochonilha do carmim (*Dactylopius opuntiae* Cockerell) [Orelha de Elefante Mexicana - OEM (*Opuntia Stricta* (Haw.), IPA Sertânia (*Nopalea cochenillifera* (L.) Salm Dyck.), e Miúda (*Nopalea cochenillifera* (L.) Salm Dyck.)], associadas a três níveis de inclusão de feno de leucena (0, 15 e 30%). O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado, em arranjo fatorial 3×3, correspondendo aos genótipos de palma forrageira e os níveis de feno de leucena, com quatro repetições. A ensilagem foi realizada em 36 mini silos experimentais confeccionados com tubos de PVC, contendo válvula de *Bunsen*. Foram avaliados as perdas por gases e efluentes, as características organolépticas, pH, ácidos orgânicos e o valor nutritivo das silagens. Os dados foram analisados utilizando-se o PROC MIXED do SAS® e as médias dos tratamentos foram estimadas utilizando-se o "LSMEANS" e comparadas usando o teste "t" de "Student" ($P>0,05$). Contrastes ortogonais polinomiais foram utilizados para caracterizar o tipo de resposta à inclusão de feno. Houve interação entre a cultivar de palma forrageira e nível de inclusão de leucena para a maior parte das variáveis estudadas. As silagens do cultivar OEM sem inclusão de feno de leucena apresentaram maior pH (4,95) em comparação à Miúda (4,11) e Sertânia (4,17). A inclusão de feno de leucena aumentou o pH das silagens, reduziu as perdas por efluentes, sem comprometer as características fermentativas das silagens, que apresentaram predominância de ácido lático (93 g/kg). As silagens apresentaram estabilidade aeróbia por mais de 60h após a abertura dos silos. A inclusão de feno de leucena nas silagens de palma forrageira aumentou a concentração de proteína bruta e fibra em detergente neutro, e reduziu a digestibilidade *in vitro* da matéria seca. As variedades de palma forrageira apresentaram padrões satisfatórios de fermentação, contudo as silagens da palma Miúda com e sem inclusão de feno de leucena apresentaram menores concentrações de ácido butírico e melhor digestibilidade *in vitro* da matéria seca em comparação a IPA Sertânia e OEM. A inclusão de 15% de feno de leucena nas silagens de palma forrageira pode ser uma estratégia para reduzir as perdas de MS, aumentar a concentração de PB e FDN, sem impactar negativamente o perfil fermentativo das silagens.

Palavras-chave: Ensilagem; Perfil fermentativo; Perdas de matéria seca.

ABSTRACT

The production of cactus pear silage may optimize the use of this important forage resource in the semi-arid region. However, the low concentration of dry matter (DM) and high concentration of soluble carbohydrates may affect fermentative characteristics of the produced silage. The inclusion of leucaena hay [*Leucaena leucocephala* (Lam.) Wit] during the cactus pear ensilage process may contribute to increase the silage DM concentration, reduce effluent losses, and improve the fermentative characteristics. The objective of the study was to evaluate the fermentative characteristics, effluent losses, and aerobic stability of three genotypes of cactus pear resistant to carmine cochineal (*Dactylopius opuntiae* Cockerell) [Orelha de Elefante Mexicana - OEM (*Opuntia Stricta* (Haw.), IPA Sertânia (*Nopalea cochenillifera* (L.) Salm Dyck.), and Miúda (*Nopalea cochenillifera* (L.) Salm Dyck.)], associated with three levels of inclusion of hay from leucena (0, 15 and 30%). The design used was completely randomized, in a 3 × 3 factorial arrangement, corresponding to cactus pear genotypes and leucena hay levels, with four replications. Ensiling was conducted in 36 experimental PVC minisilos containing a *Bunsen* valve. Gas and effluent losses, organoleptic characteristics, pH, organic acids, and silage nutritive value were evaluated. Data were analyzed using PROC MIXED of SAS®, and treatment means were estimated using "LSMEANS" and compared using "Student" "t" test ($P > 0.05$). Polynomial orthogonal contrasts were used to characterize the type of response to leucaena hay inclusion. There was interaction between cactus pear variety and leucaena hay levels for most of the studied variables. Silages of the OEM cultivar without the inclusion of leucaena hay had a higher pH (4.95) compared to Miúda (4.11) and Sertânia (4.17). The inclusion of leucena hay increased the pH of the silages, reduced losses by effluents, without compromising the fermentative characteristics of the silages, which showed a predominance of lactic acid (93 g/kg). The silages showed aerobic stability for more than 60 hours after opening the silos. The inclusion of leucaena hay in cactus pear silages increased the concentration of crude protein and neutral detergent fiber, and reduced the in vitro dry matter digestibility. The cactus pear varieties showed satisfactory fermentation patterns, however the cactus pear silages of the cultivar Miúda with and without inclusion of leucena hay showed lower concentrations of butyric acid and greater in vitro digestibility of dry matter compared to IPA Sertânia and OEM. The inclusion of 15% leucaena hay in cactus pear silages can be a strategy to reduce DM losses, increase the CP and NDF concentration, without negatively impacting the fermentative profile of the silages.

Keywords: Ensiling; Fermentative profile; Dry matter losses.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1.** Silagem do cultivar de palma forrageira IPA Sertânia no momento da abertura do silo..... 22
- Figura 2.** Silagens de palma contendo níveis inclusão de feno de leucena (0, 15, 30%) em exposição ao ar para avaliação da estabilidade. 23
- Figura 3.** Silagem de cultivares de palma forrageira . (1). Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia Stricta* Haw). (2). Palma Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck.); (3). IPA Sertânia (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck.). 28
- Figura 4.** Estabilidade aeróbia das silagens de cultivares de palma forrageira com níveis de inclusão de feno de leucena. Cultivares: IPA: Ipa Sêrtania; PM: Palma miúda; OEM: Orelha de Elefante Mexicana; TA: Temperatura ambiente. 30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Composição química e digestibilidade <i>in vitro</i> da matéria seca do feno de leucena, cultivares de palma forrageira e da mistura entre elas.	20
Tabela 2. Perdas por gases e por efluentes, índice de recuperação de matéria seca e perfil fermentativo de silagens de cultivares de palma forrageira contendo níveis de inclusão feno de leucena.....	24
Tabela 3. Desdobramento da interação entre os efeitos de cultivar de palma forrageira e níveis de inclusão de feno de leucena sobre as perdas por gases e efluentes de silagens de cultivares de palma forrageira contendo níveis de feno de leucena.	25
Tabela 4. Desdobramento da interação entre os efeitos de cultivar de palma e níveis de inclusão de feno de leucena sobre o perfil fermentativo de silagens de cultivares de palma forrageira contendo níveis de inclusão de feno de leucena	27
Tabela 5 Qualidade nutricional de silagens de cultivares de palma forrageira com níveis de inclusão de feno de leucena	28
Tabela 6. Desdobramento da interação entre os efeitos de cultivar de palma forrageira e níveis de inclusão de feno de leucena sobre o valor nutritivo de silagens de palma forrageira contendo níveis de feno de leucena.....	29

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. REVISÃO DE LITERATURA	12
2.1 Importância da palma forrageira para resiliência da atividade pecuária no semiárido.....	12
2.2 Uso da palma forrageira na alimentação de ruminantes.....	13
2.3 Ensilagem da palma forrageira.....	15
2.4 Características fermentativas de silagens de palma.....	16
3. MATERIAL E MÉTODOS	18
3.1 Local do experimento, delineamento e tratamentos experimentais.....	18
3.2 Preparo do material, confecção das silagens e análise químico-bromatológica dos materiais empregados	19
3.3 Perdas, análise sensorial e composição química-bromatológica das silagens.....	21
3.4 Estabilidade aeróbia.....	23
3.5 Análise estatística	23
4. RESULTADOS	24
4.1 Perdas de MS e perfil fermentativo	24
4.2 Análise sensorial.....	27
4.3 Valor nutritivo	28
4.4 Estabilidade aeróbia das silagens	30
5. DISCUSSÃO	30
6. CONCLUSÕES	35
REFERÊNCIAS	36

1. INTRODUÇÃO

A palma forrageira tem sido considerada uma alternativa para garantir a sustentabilidade da atividade pecuária em regiões semiáridas (DUBEUX Jr. *et al.*, 2021). No Brasil, estima-se que aproximadamente 600.000 ha sejam cultivados com palma forrageira de diversos genótipos (DUBEUX Jr. *et al.*, 2013), e o cultivo continua se expandindo ao longo dos anos. O cultivo da palma também tem sido apontado como umas das principais estratégias para lidar com mudanças climáticas em condições semiáridas (DUBEUX Jr. *et al.*, 2022), devido a seu elevado nível de adaptação as condições, favorecendo a resiliência da atividade pecuária nessas regiões.

A ocorrência de pragas, principalmente a cochonilha do carmim (*Dactylopius opuntiae* Cockerell) tem sido considerada como uma das principais ameaças ao cultivo de palma forrageira (SANTOS *et al.*, 2011). A principal ferramenta utilizada para reduzir a disseminação dessa praga é a seleção de variedades mais resistentes, com destaque para os cultivares Miúda e a Orelha de Elefante Mexicana (SANTOS *et al.*, 2006). Novos materiais precisam ser avaliados para garantir a oferta de variedades de palma forrageira e reduzir os riscos da atividade.

A palma forrageira geralmente é colhida e fornecida verde, picada no cocho aos animais (DUBEUX Jr. *et al.*, 2021). Embora não seja necessária a colheita diária da palma forrageira para fornecimento aos animais, considerando que o material colhido pode ser utilizado por até 16 dias (SANTOS *et al.*, 1992), a necessidade de colheita frequente acaba contribuindo para desuniformidade do palmal. Neste sentido, é importante avaliar estratégias que contribuam para garantir o melhor aproveitamento desse recurso forrageiro no semiárido.

A confecção da silagem de palma forrageira pode ser uma alternativa para maximizar o uso dessa cactácea em regiões semiáridas. A ensilagem permite colher todo o palmal, padronizar a colheita e favorecer o crescimento da planta forrageira, o que pode contribuir para o aumento da produtividade e redução da necessidade mão de obra para colheita ao longo da estação seca, além de conservar a água presente no alimento (GALVÃO Jr. *et al.*, 2014; RAMOS *et al.*, 2015).

A palma forrageira apresenta baixo teor de MS (Matéria Seca) (14,9 %) (GAMA *et al.*, 2020), o que pode ser considerada uma característica desfavorável ao processo de ensilagem, além do baixo teor de fibra fisicamente efetiva e proteína bruta (PB). Contudo, apresenta elevada concentração de polissacarídeos pécticos, ou seja, açúcares esterificados com alta

concentração de galactose, arabinose, xilose e frutose, que podem possibilitar a fermentação adequada da silagem (BRITO *et al.*, 2020), porém, pode ocorrer fermentação excessiva e elevada perda de nutrientes. O aumento dos teores de MS da massa ensilada com a adição de aditivos absorventes pode contribuir para melhorar as características fermentativas da silagem e reduzir as perdas ao longo do processo.

A inclusão do feno de leucena [*Leucaena leucocephala* (Lam.) Wit] pode contribuir para melhorar o valor nutritivo, como os teores de proteína do material ensilado e melhorar as condições para a fermentação da palma forrageira com a elevação dos níveis de MS. Gusha *et al.* (2013) avaliaram características fermentativas e o valor nutritivo de silagens compostas por 60% de palma forrageira (*Opuntia ficus-indica*) e 40% de feno de leguminosas [*Acacia angustissima* (Mill.) Kuntze, *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit, *Calliandra calothyrsus* Meisn e *Macroptilium atropurpureum* Ubr.] e reportaram que a inclusão de feno contribuiu para melhorar as características da silagem, principalmente nos teores de MS, PB e FDN (Fibra em Detergente Neutro), enquanto o pH variou de 3,97 a 4,11.

Entender variações no perfil fermentativo e valor nutritivo de silagens de palma forrageira com inclusão de feno de leguminosas forrageiras pode contribuir para otimizar o uso deste importante recurso forrageiro em condições semiáridas. Neste sentido, as hipóteses deste trabalho são: (i) a associação entre palma forrageira e feno de leucena pode resultar em silagens com adequadas características fermentativas e valor nutritivo, uma vez que o feno de leucena pode contribuir para elevar os teores de MS e PB, reduzir a fermentação excessiva da massa ensilada; e (ii) as diferenças de teor da MS inicial de cultivares de palma forrageira e o nível de feno de leucena podem contribuir para diferenças no perfil fermentativo de silagens. Neste sentido, objetivou-se avaliar as características fermentativas, perdas de MS, e o valor nutritivo de silagens de três cultivares de palma forrageira associados a níveis de feno de leucena (0, 15 e 30%).

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Importância da palma forrageira para resiliência da atividade pecuária no semiárido

O cultivo da palma forrageira no Semiárido brasileiro pode contribuir para manutenção e ganho de peso dos animais especialmente durante período seco do ano, pois é uma das poucas plantas que consegue se manter verde e produzir durante esta época. A tolerância a condições climáticas desfavoráveis está relacionada ao seu metabolismo (metabolismo ácido das crassuláceas – MAC), que coopera para a eficiência de uso da água (SIQUEIRA *et al.*, 2017).

Estima-se que palma forrageira utiliza cerca de 50 litros de água para produzir um quilo de matéria seca, enquanto forrageiras de clima tropical (C₃ e C₄) consomem aproximadamente 500 litros para produzir a mesma quantidade de matéria seca, e um dos fatores que contribui para isso é a abertura noturna dos estômatos para trocas gasosas, reduzindo a dispersão da molécula de água para o ambiente (PEREIRA *et al.*, 2012). Além disso, a palma forrageira apresenta elevado potencial de produção de massa verde por hectare, podendo atingir valores de aproximadamente 30 toneladas MS ha⁻¹ em colheitas bienais, armazenando também grandes quantidades de água em sua composição (90% de umidade). Isso contribui para que a palma forrageira seja um importante recurso forrageiro para garantir a resiliência da pecuária em regiões áridas e semiáridas (DUBEUX JR. *et al.*, 2015).

A palma forrageira vem sendo utilizada com sucesso em diferentes sistemas de produção animal no semiárido (DUBEUX Jr. *et al.*, 2021 a), destacando-se como uma fonte de forragem de elevado valor nutricional, com elevados níveis de energia e digestibilidade, porém baixa concentração de proteína bruta.

Em testes com a substituição do feno de capim-tifton (*Cynodon* ssp.) por palma forrageira e ureia na dieta de vacas leiteiras foi observado que a inclusão de palma e ureia contribuiu para aumentar o consumo de energia e a produção de leite (CAVALCANTI *et al.* 2008).

Em estudo com a inclusão de palma forrageira na dieta de cabras leiteiras foi observado o aumento da produção de leite e redução consumo de água via bebida (ARAÚJO, 2020). Além disso, o elevado valor nutritivo, especialmente concentração de carboidratos solúveis em comparação a outras plantas forrageiras produzidas em áreas secas, fez com que a

palma forrageira tenha sido considerada a rainha das plantas forrageiras em condições de semiárido (ROCHA FILHO *et al.*, 2021).

A água armazenada na palma forrageira pode contribuir para minimizar os efeitos ocasionados pela escassez de chuvas, especialmente em áreas sujeitas a longos períodos de estiagem, onde, durante o período seco do ano, ocorre a diminuição na produção e frequentemente da qualidade da forragem disponível, além da redução da oferta de água em quantidade e qualidade para os animais (SILVA *et al.*, 2011). Neste sentido, a palma forrageira pode ser parte da solução para restrição hídrica e alimentar dos animais durante a época seca do ano.

Além de elevadas concentrações de carboidratos solúveis, a palma forrageira apresenta níveis elevados de minerais principalmente potássio (24,9 g/kg MS), cálcio (26,8 g/kg MS), magnésio (12,5 g/kg MS) (SILVA *et al.*, 2012). O cultivo da palma também tem sido apontado como umas das principais estratégias para lidar com mudanças climáticas em condições de semiárido (DUBEUX JR. *et al.*, 2022), devido a seu elevado nível de adaptação as condições, favorecendo a resiliência da atividade pecuária nessas regiões.

Pordeus Neto *et al.* (2016), avaliando dietas a base de palma forrageira, indicaram que a palma forrageira *in natura* é capaz de suprir a demanda de minerais por ovinos sem raça definida com peso inicial de 20 kg, sugerindo que em sistemas com baixo nível tecnológico, a palma forrageira pode fornecer quantidade suficiente de minerais.

2.2 Uso da palma forrageira na alimentação de ruminantes

A palma forrageira é considerada um importante recurso forrageiro para o desenvolvimento da pecuária em regiões semiáridas (DUBEUX JR. *et al.*, 2022). Nas áreas secas do Nordeste brasileiro tem sido frequentemente utilizada como base da alimentação, especialmente na criação de vacas leiteiras, caprinos e ovinos, a qual se destaca por ser um alimento com alta concentração de energia, podendo, inclusive, em algumas situações substituir parcialmente ou integralmente o milho na dieta dos animais (SILVA *et al.*, 2022)

As principais limitações do uso da palma forrageira na alimentação de ruminantes são os baixos teores de fibra fisicamente efetiva, o que pode causar acidose ruminal e o baixo teor de proteína bruta para atender às necessidades nutricionais dos animais (SANTANA NETO *et al.*, 2014). Entretanto, a associação com outras fontes de volumosos com maior teor de MS e proteína, facilmente reduz as limitações (SILVA *et al.*, 2007).

A palma forrageira é frequentemente utilizada na alimentação de ruminantes na forma fresca, picada e fornecida diretamente aos animais no cocho (DUBEUX Jr. *et al.*, 2022). Embora não seja necessária a colheita diária da palma forrageira para fornecimento aos animais, considerando que o material colhido pode ser utilizado por até 16 dias (SANTOS *et al.*, 1992), a necessidade de colheita frequente acaba contribuindo para desuniformidade do palmar. Neste sentido, é importante avaliar estratégias que contribuam para otimizar o uso desse recurso forrageiro no semiárido, como, por exemplo, a produção de farelo de palma, como uma importante fonte de substituição ao farelo de milho (VERAS *et al.*, 2002). O uso da palma forrageira para confecção de silagem também tem sido avaliado, incluindo a produção de silagens exclusivas ou em misturas com outras forrageiras ou ainda na produção de silagens de dieta completa (MACEDO *et al.*, 2017).

A utilização da silagem de palma forrageira pode resultar em maior consumo de matéria seca, matéria orgânica, fibra em detergente neutro, extrato etéreo, carboidratos não fibrosos e nutrientes digestíveis totais, e maiores coeficientes de digestibilidade da matéria seca (PEREIRA *et al.*, 2021). O uso da palma na dieta de cabras leiteiras, associada ao capim elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) e gérmen de milho integral extragordo, misturado no cocho contribuiu para aumentar o consumo de MS e energia, o que favoreceu o desempenho produtivo de cabras leiteiras em comparação à dieta sem inclusão de palma forrageira (GALEANO *et al.*, 2022).

Souza *et al.* (2020) observaram que a inclusão de 42% de silagem de palma na dieta de cordeiros aumentou área de olho de lombo, peso de carcaça e cortes comerciais, e o aumento do intervalo de ingestão de água pelos animais

Silva *et al.* (2021) avaliaram o consumo de água e o comportamento ingestivo de ovinos alimentados com dietas contendo silagens de palma forrageira exclusivas e combinadas com silagens de forrageiras tropicais {[capim buffel (*Cenchrus ciliaris* L.), gliricídia [*Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud], pornunça (*Manihot* sp.)} e silagem de milho como dieta-controle, e observaram que a silagem de palma em combinação com a silagem de gliricídia proporcionaram maior consumo de água via alimento em decorrência dos menores teores de MS, e destacaram a importância do fornecimento de água via alimentação em regiões semiáridas, onde a água potável é tão escassa.

O uso da silagem de palma forrageira na alimentação animal, além de ser um ponto positivo ao desempenho dos animais pode possibilitar uma rebrota uniforme do palmar, com e possíveis melhorias na produtividade, contribui para reduzir os custos de produção, além de

favorecer a logística operacional no fornecimento diário do alimento aos animais, mantendo o armazenamento de água (MACEDO *et al.*, 2018).

2.3 Ensilagem da palma forrageira

A tecnologia de confecção de silagem de cactáceas não é nova, sendo alvo de patente registrada em 1907 (RIEGER; LYNE, 1907), e indicada como uma alternativa para maximizar o uso desse importante recurso forrageiro em condições semiáridas.

A palma forrageira geralmente é colhida e fornecida verde, picada no cocho aos animais (DUBEUX JR. *et al.*, 2021). Embora não seja necessária a colheita diária da palma forrageira para fornecimento aos animais, a necessidade de colheita frequente acaba contribuindo para desuniformidade do palmal. Neste sentido, é importante avaliar estratégias que contribuam para otimizar o uso desse recurso forrageiro no semiárido.

Embora a palma forrageira tenha alto teor de umidade, as silagens geralmente apresentam reduzidas perdas de efluentes durante o processo de ensilagem. Isso ocorre devido a liberação da mucilagem, durante redução de tamanho de partículas, o que contribui para romper as células e liberar conteúdo celular, que por sua vez apresenta consistência gelatinosa (GUSHA *et al.*, 2013). Essas substâncias são capazes contribuir para manter a água armazenada, reduzindo as perdas, devido a sua função hidrofílica na planta, mantendo a umidade do material durante o processo de ensilagem.

Entretanto, alguns cuidados devem ser adotados para favorecer a produção de silagem da palma forrageira. De acordo Sá *et al.* (2020), deve-se evitar ensilar cladódios jovens, uma vez que pode contribuir para elevadas perdas por efluentes, devido a quantidade insuficiente de mucilagem. A mucilagem é um gel formado por polissacarídeos altamente hidrofílicos, que promovem a absorção de água e, assim, minimizam a movimentação desta no perfil do silo. Os autores indicam que a concentração da mucilagem pode ser menor durante a época chuvosa devido à grande absorção de água pela planta.

Vastolo *et al.* (2020) indicam que devido ao elevado nível de umidade da palma forrageira, é recomendado que durante o processo de ensilagem sejam incluídas “forragens secas” ou resíduos de culturas para absorver a água e balancear a quantidade de carboidratos solúveis e frações nitrogenadas, favorecendo a utilização da silagem.

Gusha *et al.* (2013) avaliaram o valor nutritivo e a aceitabilidade de silagens compostas por 60% de palma (*Opuntia ficus-indica*) e 40% de feno de *Leucaena*

leucocephala, os autores observaram a melhora nas características da silagem, principalmente no teor de MS da silagem que foi de 41%, considerando que palma possui normalmente menos de 10% de MS e concluíram que a associação da palma e a leucena para confecção de silagem mostra ser um importante recurso para ser utilizada pelos produtores na época seca do ano.

As silagens de palma forrageira são caracterizadas pelo alto teor de umidade e reduzidos teores de proteína, além de elevados teores de carboidratos solúveis, que pode contribuir para fermentação excessiva. Por outro lado, as silagens de leguminosas apresentam elevado teor de PB que podem ultrapassar 22%, e por isso apresentam dificuldade para reduzir o pH, podendo ocorrer fermentações secundárias, provocando altos teores de compostos nitrogenados por conta da alta concentração proteica. Em estudos avaliando a composição química da silagem de leucena, Silva *et al.* (2015) encontraram valores médios de 31,2 % MS, 22,41% PB, 46,2 % de FDN e 95,30 de MO, e destacou que a silagem da leucena apresenta altos valores de pH (5,5), em função da grande quantidade de proteína que reduz o açúcar presente e aumenta a capacidade tampão. A inclusão de fontes de carboidratos solúveis pode melhorar o perfil fermentativo e reduzir os problemas das silagens exclusivas de leguminosas (SILVA *et al.*, 2015).

Assim, as misturas da palma forrageira e leguminosas podem contribuir positivamente para o perfil fermentativo e o valor nutritivo da silagem produzida (PESSOA *et al.*, 2020). Brito (2018) avaliou a composição bromatológica de silagens de palma forrageira com diferentes níveis de adição de gliricídia a (0; 25; 50; 75 e 100%) e seis tempos de abertura dos silos (1, 7, 15, 30, 60 e 90 dias) e observou que os teores de proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), lignina (LIG), hemicelulose (HEM), proteína insolúvel em detergente neutro (PIDN) e cinza insolúvel em detergente neutro (CIDN) tiveram aumentos lineares em função da inclusão de gliricídia nas silagens. De acordo com os autores, a gliricídia melhorou todos os atributos fermentativos e valor nutritivo da silagem de palma forrageira.

2.4 Características fermentativas de silagens de palma

As características do material no momento da ensilagem afetam o perfil fermentativo e o valor nutritivo da silagem. Para garantir uma boa fermentação, geralmente é recomendado que o material a ser ensilado apresente entre 30 e 35% de MS e concentração de carboidratos solúveis em água acima de 2% da MS (GUIM; CLEMENTE, 2019).

A palma forrageira é um alimento que apresenta baixos teores de MS (aproximadamente 10%) e elevadas concentrações de carboidratos solúveis (DUBEUX JR. *et al.*, 2019; ROCHA FILHO *et al.*, 2021), o que pode favorecer a fermentação excessiva. Entretanto, se os teores de MS forem corrigidos com a adição de aditivos absorventes, pode resultar em fermentação satisfatória, atingindo níveis de pH recomendados para o processo de ensilagem e conservação da forragem. Quando realizado de forma adequada, durante o processo de ensilagem da palma forrageira pode ocorrer elevada produção de ácidos orgânicos com predominância do ácido lático (BRITO *et al.*, 2020), favorecendo a conservação da forragem.

Matias *et al.* (2020) avaliaram as características fermentativas de silagens de palma forrageira com níveis de maniçoba (*Manihot pseudoglaziovii* Pax & K. Hoffm) (0, 25, 50, 75, 100%) e observaram que, com o aumento dos níveis de maniçoba, ocorreu aumento linear na concentração de ácido butírico, redução no pH, ácido lático e ácido acético, e comportamento quadrático para o ácido propiônico. Os autores reportaram que apesar dos ácidos orgânicos baixarem o pH da silagem, o ácido predominante nas silagens de palma forrageira é o lático devido a elevada concentração de carboidratos solúveis presente na mucilagem que também contribui para o tamponamento da silagem, inibe a produção de etanol e reduz as perdas de MS.

De acordo com Van Soest (1994), o pH da silagem deve estar entre 3,7 a 4,2 para assegurar a boa conservação do material ensilado. O pH ideal para silagens é dependente da umidade do material ensilado e da temperatura. Para silagens com teor de MS superior a 20% são recomendados valores de pH próximos a 4 para que ocorra conservação satisfatória (PEREIRA *et al.*, 2007). Entretanto, em relação à silagem de palma forrageira associada a leguminosas, existe uma grande variação nos valores reportados de pH na literatura.

Brito *et al.* (2020) avaliaram os níveis de adição de gliricídia nas silagens de palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill.), nas proporções 0%, 25%, 50%, 75% e 100% de gliricídia, e o pH das silagens observado aos 60 dias foi de 3,78; 3,93; 4,06; 4,18; 5,16 respectivamente, apresentando efeito linear crescente com o aumento do nível de inclusão de gliricídia. Isso provavelmente ocorreu devido às leguminosas apresentarem maior poder tampão em relação a palma forrageira, dificultando a redução do pH.

Santos *et al.* (2020) estudaram os efeitos dos níveis da palma forrageira (*Opuntia* spp.) em silagens de rações mistas totais à base de palma forrageira e gliricídia. Os autores avaliaram quatro rações com diferentes níveis de palma (15, 30, 45, 60% com base na matéria seca) e quatro períodos de abertura (0, 15, 30 e 60 dias de fermentação) e reportaram que não

houve diferença para o pH aos 60 dias, com pH médio de 4, indicando que as silagens apresentavam boa qualidade.

Sá *et al.* (2020) avaliaram silagens de palma forrageira com inclusão de ureia ou *Lactobacillus buchneri* (LB), bem como a associação de ambos os aditivos em quatro tempos de armazenamento (7, 15, 60 e 120 dias). As silagens apresentaram valores de pH igual a 3,46 quando confeccionada apenas com palma forrageira, e 4,90 e 4,98 quando aditivadas com ureia e LB, respectivamente. As silagens contendo palma forrageira, ureia e LB apresentaram pH igual a 4,63. Os autores justificaram que por mais que os valores de pH ficassem acima do preconizado de 4,2, o pH por si só não define a qualidade de uma silagem, sendo necessário considerar também outros parâmetros como perfil dos ácidos, características organolépticas, estabilidade aeróbia e N-NH₃.

Apesar das altas concentrações de carboidratos e água, o que provoca uma rápida queda do pH e possível fermentação excessiva, a palma poderia apresentar altas perdas de MS por liberação de efluente (BRITO *et al.* 2020) e contribuir para o desenvolvimento de microrganismos proteolíticos, resultando em perdas de nutrientes ou formação de compostos indesejados. Contudo, as perdas tendem a ser limitadas devido a mucilagem, que retém a umidade no interior do silo, reduzindo as perdas de MS (NOGUEIRA *et al.*, 2015).

A proteólise faz parte do processo fermentativo das silagens, sendo um fator considerado indicativo da qualidade da silagem. Segundo Pereira *et al.* (2007), uma silagem de boa qualidade tem que ter a maior parte do nitrogênio não proteico em forma de aminoácidos e a formação de amônia (NH₃) e nitratos é uma característica indesejável. Van Soest *et al.* (1994) consideram um limite de 10% de N-NH₃/N-total para silagens de boa qualidade, e que valores acima de 15% indicam fermentação indesejável devido a proteólise excessiva. Geralmente, as silagens de palma forrageira apresentam baixos teores de nitrogênio amoniacal (4,7% N-NH₃/N- total), o que é resultado de uma rápida queda do pH e inibição de microrganismos indesejados (BRITO *et al.*, 2020).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local do experimento, delineamento e tratamentos experimentais

O experimento foi conduzido no Departamento de Zootecnia, da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), em Recife-PE (8° 04' N, 34° 55' E. 4 m a.s.l.), entre os meses de setembro a novembro de 2021. Todas as análises foram realizadas no laboratório de

Forragicultura da UFRPE, com exceção das análises dos ácidos orgânicos que foram realizadas no Laboratório de Química, da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). O material utilizado para realização do estudo foi coletado na Estação Experimental do IPA, localizada em Arcoverde-PE (8°26'N, 37°03'E, 664 m a.s.l.). O município se encontra na zona de transição entre o Agreste e o Sertão de Pernambuco, e tem precipitação pluviométrica média anual de 680 mm e temperatura do ar média anual de 23,7°C, variando entre 16°C a 34°C (INMET, 2019).

Foram avaliadas silagens de três cultivares de palma forrageira resistentes à cochonilha do carmim (*Dactylopius opuntiae* Cockerell): Orelha de Elefante Mexicana (clone IPA 200016) (*Opuntia Stricta* (Haw.) Haw., *Nopalea cochenillifera* Cv. IPA Sertânia (clone IPA 200205), e palma Miúda (clone IPA 100004) (*Nopalea cochenillifera* (L.) Salm Dyck.), associadas a três níveis de inclusão de feno de leucena (0, 15 e 30% com base matéria natural). O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado, seguindo o arranjo fatorial 3 × 3, correspondendo a três cultivares de palma forrageira e três níveis de inclusão de feno de leucena, com quatro repetições, totalizando 36 unidades experimentais.

3.2 Preparo do material, confecção das silagens e análise químico-bromatológica dos materiais empregados

O feno de leucena foi produzido a partir do corte de ramos finos com até 1 cm de espessura. Após a colheita, a forragem foi passada em triturador forrageiro (modelo Gte-3000M) regulado para corte de 1,5 cm e exposto ao sol para desidratação. Os cultivares de palma forrageira utilizados para confecção das silagens foram colhidos de palmais com dois anos de rebrotação, adubados com três toneladas de esterco de caprinos aplicados após a colheita anterior. A colheita foi realizada de forma manual, coletando-se toda forragem localizada imediatamente acima dos cladódios primários.

A picagem dos cladódios foi realizada em partículas de aproximadamente 2,5 × 2,5 cm, em triturador de palma forrageira (Master 1400, Sertaneja), e em seguida misturada com o feno de leucena de acordo com a proporção de cada tratamento. As ensilagens foram realizadas em 36 mini silos experimentais com 75 cm de altura, 15 cm de diâmetro, confeccionados com tubos de PVC, contendo válvula de Bunsen para escape de gases. Imediatamente antes do enchimento dos silos, foram coletadas amostras da massa a serem ensiladas e levadas à estufa de ventilação forçada regulada a 55°C até peso constante e, posteriormente, moídas em moinho tipo Willey, em peneira de 1 mm para determinação dos teores de matéria seca (MS), matéria mineral (MM), matéria orgânica (MO), proteína bruta

(PB), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), lignina e a digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS), utilizando a DAISYII Incubator (ANKOM® Technology), de acordo as metodologias descritas por Detmann *et al.* (2021) e carboidratos solúveis em água (CSA), seguindo o método da antrona, descrito por Bezerra Neto (2011) (Tabela1).

Tabela 1. Composição química e digestibilidade *in vitro* da matéria seca do feno de leucena, cultivares de palma forrageira e da mistura entre elas.

Item	MS ¹¹	MO ¹²	MM ¹³	PB ¹⁴	FDN ¹⁵	FDA ¹⁶	DIVMS ¹⁹	CSA ¹⁷
	g/kg							
Feno ¹	802	916	84	162	542	249	521	17
PS0% ²	63	875	125	42	227	111	933	46
PS15% ³	186	883	117	149	442	199	629	23
PS30% ⁴	299	908	92	146	480	193	588	25
PM0% ⁵	72	867	133	43	225	117	904	40
PM15% ⁶	167	887	113	135	426	190	635	20
PM30% ⁷	304	900	100	164	438	204	622	34
PO0% ⁸	52	773	227	88	229	124	913	41
PO15% ⁹	157	851	149	158	509	186	561	12
PO30% ¹⁰	283	889	111	146	473	191	580	20

1= feno de leucena; 2= Silagem de palma Ipa Sertânia; 3= Silagem de palma Ipa Sertânia mais 15% de inclusão de feno de leucena; 4= Silagem de palma Ipa Sertânia mais 30% de inclusão de feno de leucena; 5=Silagem de palma Miúda; 6= Silagem de palma Miúda + 15% de inclusão de feno de leucena; 7= Silagem de palma Miúda + 30% de inclusão de feno de leucena; 8= Silagem de palma Orelha de Elefante Mexicana; 9= Silagem de palma Orelha de Elefante Mexicana + 15% de inclusão de feno de leucena; 10= Silagem de palma Orelha de Elefante Mexicana + 30% de inclusão de feno de leucena; 11=Matéria seca; 12=Matéria orgânica; 13=Matéria mineral; 14=Proteína bruta; 15=Fibra em detergente neutro (g/kg MS); 16= Fibra em detergente ácido (g/kg MS); 17=Carboidratos solúveis em água (g por kg MS); 19= digestibilidade *in vitro* da matéria seca (g kg MS).

No fundo de cada silo foram colocados cinco quilos de areia lavada acondicionadas em sacos de TNT para evitar a contaminação do material com areia na captação do efluente proveniente da forragem ensilada e pesados. O material ensilado foi compactado para adequada fermentação do silo. Após o enchimento, os silos foram identificados, lacrados com fita adesiva, pesados e acondicionados em sala fechada em temperatura ambiente, protegidos da luz solar, por um período de 70 dias.

A densidade média das silagens foi determinada após a pesagem antes e após a ensilagem, determinando gravimetricamente o peso da massa ensilada por meio da equação:

$$\text{Densidade (kg/m}^3\text{)} = \text{ME (kg)}/\text{VS(m}^3\text{)}$$

Em que: ME= massa ensilada (kg) e VS= volume do silo (m³).

3.3 Perdas, análise sensorial e composição química-bromatológica das silagens

As perdas de matéria seca do processo fermentativo das silagens sob as formas de gases e efluentes, assim como a recuperação da matéria seca, foram quantificadas por diferença de peso, conforme as equações descritas por Zanine *et al.* (2010), em que:

$$PG = [(PSF-PSA)/(MVFE \times MSFV)] \times 100$$

Em que: PG = perdas por gases (% da MS); PSF = peso do silo cheio no fechamento da ensilagem (kg); PSA = peso do silo cheio na abertura (kg); MVFE = matéria verde da forragem ensilada (kg); MSFE = matéria seca da forragem ensilada (%).

$$PE = [(PVf - Ts) - (PVi - Ts)]/MFi \times 100$$

Em que: PE = perdas por efluente (kg/t de MV); PVf = peso do silo vazio mais peso da areia na abertura (kg); Ts = tara do silo; PVi = peso do silo vazio mais peso da areia no fechamento (kg); MFi = massa de forragem no fechamento (kg).

$$RMS = (MFab \times MSab) / (MFfe \times MSfe) \times 100$$

Em que: RMS = recuperação de matéria seca %; MFab = massa de forragem na abertura; MSab = teor de MS na abertura; MFfe = massa de forragem no fechamento; Msfe = teor de MS da forragem no fechamento.

No momento da abertura foi realizada a avaliação sensorial das silagens de acordo os critérios estabelecidos por Guim e Clemente (2019); quanto aos aspectos odor, coloração e textura (teor de MS), para os quais as silagens receberam pontuações de 1 a 4 para cada quesito e, a partir da média destas, foram então classificadas em boa a muito boa, satisfatória, regular e insatisfatória. Para a avaliação de mofo, as silagens foram classificadas em relação a presença ou ausência de mofo aparente. As avaliações sensoriais foram realizadas por três avaliadores e os resultados foram analisados descritivamente.



Figura 1. Silagem do cultivar de palma forrageira IPA Sertânia no momento da abertura do silo.

O pH das silagens foi determinado utilizando-se aproximadamente 9 g de amostra do material ensilado de cada tratamento e adicionado 60 mL de água destilada e após 30 minutos realizou-se a leitura utilizando um potenciômetro, de acordo com a metodologia descrita por Silva e Queiroz (2002).

Posteriormente, foram retiradas duas amostras de silagem da porção mediana de cada silo, descartando-se aproximadamente 10 cm da camada superior. Uma amostra fresca foi congelada em freezer para análises posteriores dos teores de nitrogênio amoniacal ($N-NH_3$) de acordo a metodologia descrita por Bolsen *et al.* (1992), e também as concentrações de ácidos orgânicos (ácido acético, ácido propiônico e ácido butírico) e etanol, determinadas por cromatografia gasosa e o ácido lático por cromatografia líquida, conforme métodos descritos por Kung *et al.* (2001); a segunda amostra foi levada à estufa de ventilação forçada regulada a 55°C até peso constante e, posteriormente, moídas em moinho tipo Willey, em peneira de 1mm para realização da análise dos teores de matéria seca (MS), matéria mineral (MM), matéria orgânica (MO), proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), lignina e a digestibilidade in vitro da matéria seca (DIVMS) utilizando a DAISYII Incubator (ANKOM® Technology), de acordo as metodologias descritas por Detmann *et al.* (2021).

3.4 Estabilidade aeróbia

A estabilidade aeróbia das silagens foi avaliada a partir do monitoramento da temperatura superficial e interna três vezes ao dia da silagem acondicionadas em baldes e exposta ao ar em sala com temperatura controlada. Foi considerado o início da deterioração, quando a temperatura interna das silagens atingiu 2°C acima da temperatura ambiente, medida utilizando termômetro digital (KUNG JR. *et al.*, 2000).



Figura 2. Silagens de palma contendo níveis inclusão de feno de leucena (0, 15, 30%) em exposição ao ar para avaliação da estabilidade.

3.5 Análise estatística

A análise estatística dos dados foi realizada utilizando-se o PROC MIXED do pacote estatístico SAS® (Statistical Analysis System) (LITTEL *et al.*, 2006). Na escolha da matriz de variância e covariância foi utilizada o Critério de Informação de Akaike (WOLFINGER, 1993). Os tratamentos e suas interações foram considerados efeitos fixos (LITTEL *et al.*, 2006). Contrastes ortopolinomiais foram utilizados para caracterizar o tipo de resposta (linear e quadrática) ao nível de inclusão de feno de leucena. As médias dos tratamentos foram estimadas utilizando-se o “LSMEANS” e a comparação entre elas por meio da probabilidade da diferença (“PDIF”), usando o teste “t” de “Student” e um nível de significância de 5%.

Quando necessário, foi realizado o desdobramento da interação entre cultivares e níveis de feno de leucena, e os contrastes polinomiais analisados para os níveis de inclusão de feno nas silagens dos diferentes cultivares.

4. RESULTADOS

4.1 Perdas de MS e perfil fermentativo

Houve efeito da interação genótipo \times níveis de feno para a maior parte das variáveis relacionadas a perdas durante o processo fermentativo, e perfil fermentativo da silagem (Tabela 2). Apenas a concentração de ácido láctico não foi influenciada pelos tratamentos estudados.

Tabela 2. Perdas por gases e por efluentes, índice de recuperação de matéria seca e perfil fermentativo de silagens de cultivares de palma forrageira contendo níveis de inclusão feno de leucena

Item	Palma			Nível de feno (NF)			EPM	P	NF	P x NF
	Miúda	Sertânia	OEM	0	15	30				
MS ¹	226	184	194	78	206	320	6,88	0,003	0,0001	0,041
PG ¹	0,09b	0,12b	0,76a	0,77	0,13	0,06	0,01	0,001	0,001	0,001
PE ²	1,41b	1,60b	17,05a	14,27	5,37	0,42	0,32	0,001	0,001	0,001
RMS ³	94a	92b	92b	86	94	96	0,87	0,003	0,001	0,087
<i>Perfil fermentativo</i>										
pH	4,42	4,58	4,77	4,41	4,53	4,81	0,06	0,031	0,002	0,001
N-NH ₃ ⁴	1,96	2,98	2,84	2,66	2,70	2,42	0,11	0,001	0,182	0,001
AP ⁵	0,50	1,39	1,39	0,61	1,35	1,34	0,12	0,001	0,003	0,001
AB ⁶	2,06	8,25	8,70	4,06	7,49	7,46	0,75	0,001	0,005	0,008
AA ⁷	11,93	10,28	8,22	9,23	10,61	10,60	0,44	0,001	0,059	0,073
AL ⁸	93	88	82	99	95	88	20,45	0,078	0,081	0,068
E ⁹	7,26	7,69	2,04	6,31	5,80	4,88	0,55	0,001	0,138	0,001

¹Perda por gases (g kg⁻¹ MS); ² Perda por efluentes (g t⁻¹ MV); ³ Índice de recuperação de matéria seca (%); 4. Nitrogênio amoniacal (%Ntotal); ⁵ Ácido propiônico (g kg⁻¹MS); ⁶ Ácido butírico (g kg⁻¹MS); ⁷ Ácido acético (g kg⁻¹MS); ⁸ Ácido láctico (g kg⁻¹MS); ⁹ Etanol (g kg⁻¹MS); ¹⁰ Médias seguidas de letras distintas, dentro do mesmo fator, diferem pelo teste de t de Student a 5% de probabilidade. EPM= Erro padrão da média P= Nível de significancia entre génotipos. NF= Nível de significancia para inclusão de feno. P x NF= Interação cultivar e nível de feno.

Os teores de MS nas silagens de palma forrageira sem inclusão de feno de leucena não diferiram. Já para as silagens com inclusão de 15% e 30% de feno de leucena, as maiores concentrações foram observadas para o cultivar Miúda. A inclusão de feno aumentou linearmente os teores de MS das silagens (Tabela 3).

As maiores perdas por gases (PG) e efluentes (PE) foram observadas nas silagens do cultivar OEM sem inclusão de feno e com a inclusão 15% de feno de leucena. Não houve diferença para as silagens com 30% de feno de leucena. O aumento da inclusão de feno leucena resultou na redução linear nas PG das silagens dos cultivares Miúda e OEM. No cultivar Sertânia, a inclusão de feno de leucena resultou em menor variação entre os níveis de inclusão 0 e 15% de feno, o que contribuiu para para resposta linear e quadrática (Tabela 3).

Foi observada redução linear com o aumento dos níveis de feno de leucena para as PE no cultivar OEM (Tabela 3). Nos demais cultivares, a inclusão do feno de leucena também reduziu as perdas por efluente, embora para os níveis de inclusão de 15% e 30% de feno nas silagens, as variações tenham sido menores, contribuindo para resposta linear e quadrática (Tabela 3).

Tabela 3. Desdobramento da interação entre os efeitos de cultivar de palma forrageira e níveis de inclusão de feno de leucena sobre as perdas por gases e efluentes de silagens decultivares de palma forrageira contendo níveis de feno de leucena.

Cultivar	Níveis de feno %			EP	Contraste polinomial
	0	15	30		
Matéria seca (g/kg MV)					
Miúda	82 a	243a	353 a	11,4	L*
Sertânia	69 a	204 b	309 b		L*
OEM	82 a	172 b	299 b		L*
Perdas por gases (% MS)					
Miúda	0,16a	0,07a	0,04a	0,18	L*
Sertânia	0,16a	0,11a	0,07a		L*Q*
OEM	2,00b	0,23b	0,06a		L*
Perdas por efluentes (kg/ton ⁻¹ MV)					
Miúda	3,50a	0,38a	0,34a	0,64	L*Q*
Sertânia	3,10a	1,36a	0,35a		L*Q*
OEM	36,22b	14,35b	0,57a		L*

Contraste polinomial para o efeito de inclusão de feno ($P \leq 0.05$): L = linear, Q = quadrático. Médias seguidas de mesmas letras nas colunas não diferem entre si pelo teste t de Student a 5% de probabilidade. Contraste polinomial para o efeito de inclusão de feno: L = linear, Q = quadrático. Médias seguidas de mesmas letras nas colunas não diferem entre si pelo teste t de Student a 5% de probabilidade.

A densidade das silagens e concentração de ácido láctico nas silagens não foram afetadas pelo efeito de tratamentos ($P > 0,05$) (Tabela 2).

Houve diferença para o pH das silagens dos cultivares de palma forrageira (Tabela 4). Nas silagens que continham 0 e 15% de inclusão de feno, os maiores valores de pH foram observados para a OEM. Com o aumento da inclusão de feno de leucena, os cultivares Miúda e Sertânia apresentaram aumentos lineares do pH. Já para as silagens de OEM, o pH reduziu do nível 0% de inclusão de feno de leucena para o nível 15%, e aumentou com 30% de inclusão de feno, o que contribuiu para efeito linear e quadrático.

A maior produção de ácido propiônico foi observada nas silagens do cultivar Sertânia com os níveis de 15 e 30% de inclusão de feno de leucena. Não houve diferença na concentração de ácido propiônico nas silagens palmas sem inclusão feno de leucena. A baixa variação da concentração do ácido propiônico nas silagens mistas dos cultivares Miúda e

Sertânia com 15% e 30% de inclusão de feno contribuíram para efeitos quadráticos. Já nas silagens do cultivar OEM, a concentração do ácido propiônico se elevou linearmente com a inclusão de feno de leucena (Tabela 4).

As menores concentrações de ácido butírico ocorreram nas silagens do cultivar Miúda em todos os níveis de inclusão de feno de leucena. Os teores do ácido butírico aumentaram entre os níveis de 0 e 15% de inclusão de feno e apresentou pequena variação para as silagens com 30% de inclusão de feno, o que contribuiu para efeito linear e quadrático para todos os cultivares (Tabela 4).

As silagens de palma OEM apresentaram os menores níveis de produção de etanol com a inclusão de feno de leucena, com redução linear em resposta à inclusão de feno. Diferentemente da silagem de OEM, as silagens de IPA Sertânia e Miúda apresentaram maiores concentrações de etanol, e as variações na concentração com a inclusão de feno contribuíram para resposta linear e quadrática (Tabela 4).

As menores concentrações de $N-NH_3$ foram observadas nas silagens do cultivar Sertânia sem inclusão de feno. A inclusão de feno resultou em resposta linear e quadrática a inclusão de feno de leucena na silagem (Tabela 4).

Tabela 4. Desdobramento da interação entre os efeitos de cultivar de palma e níveis de inclusão de feno de leucena sobre o perfil fermentativo de silagens de cultivares de palma forrageira contendo níveis de inclusão de feno de leucena

Cultivar	Níveis de feno (%)			EPM	Contraste polinomial	
	0	15	30			
		pH				
Miúda	4,11 b	4,43 b	4,71 a	0,07	L*	
Sertânia	4,17 b	4,70 a	4,85 a		L*	
OEM	4,95 a	4,48 b	4,87 a		L*Q*	
		Ácido propiônico (g/kg MS)				
Miúda	0,72 a	0,45 c	0,34 c	0,23	NS	
Sertânia	0,53 a	2,48 a	1,16 b		L*Q*	
OEM	0,57 a	1,1 b	2,51 a		L*	
		Ácido butírico (g/kg MS)				
Miúda	0,42 b	2,65 c	3,12 c	1,18	L*Q*	
Sertânia	4,49 a	13,12 a	7,15 b		L*Q*	
OEM	7,26 a	6,71 b	12,12 a		L*Q*	
		Ácido acético (g/kg MS)				
Miúda	12,3 a	11,75 a	11,74 a	0,8	L*Q*	
Sertânia	8,26 b	10,74 ab	11,84 a		L*Q*	
OEM	7,12 b	9,34 b	8,22 b		L*Q*	
		Etanol (g/kg MS)				
Miúda	11,81a	4,61 b	5,36 a	0,77	L*Q*	
Sertânia	6,20 b	10,64 a	6,24 a		L*Q*	
OEM	0,93 c	2,16 c	3,05 b		L*	
		N-NH ₃ (% N-total)				
Miúda	2,88 a	1,48 b	1,52 c	0,19	L*Q*	
Sertânia	2,17 b	3,44 a	3,32 a		L*Q*	
OEM	2,94 a	3,18 a	2,42 b		L*Q*	

Contraste polinomial para o efeito de inclusão de feno ($P \leq 0.05$): L = linear, Q = quadrático. Médias seguidas de mesmas letras nas colunas não diferem entre si pelo teste t de Student a 5% de probabilidade.

4.2 Análise sensorial

A coloração das silagens variou de verde-clara para o verde-escura, sendo mais escuras nos tratamentos com inclusão de feno. Entre os cultivares de palma não foi observado diferença na coloração. O cheiro das silagens foi considerado e variou entre cheiro de vinagre adocicado e vinagre ácido. A textura das silagens foi mais fina no cultivar OEM exclusiva; já os outros tratamentos apresentaram textura média e não grosseira. Não foi observada a presença de mofo além da superfície (Figura 1).

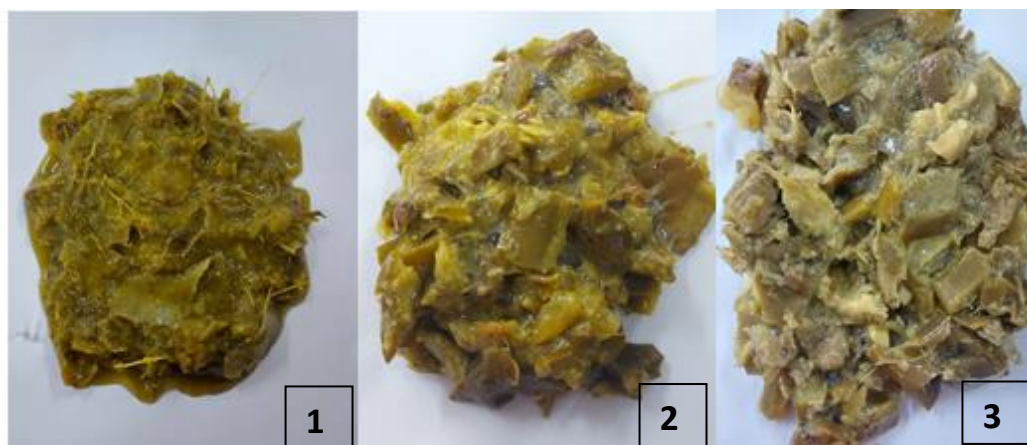


Figura 3. Silagem de cultivares de palma forrageira . (1). Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia Stricta* Haw). (2). Palma Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck.); (3). IPA Sertânia (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck.).

4.3 Valor nutritivo

Foi observado efeito da interação cultivar \times níveis de feno de leucena para os teores de matéria seca (MS), matéria orgânica (MO), proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA) e digestibilidade in vitro da matéria seca (DIVMS) (Tabela 5); com isso foi realizado o desdobramento da interação. (Tabela 6)

Tabela 5 Qualidade nutricional de silagens de cultivares de palma forrageira com níveis de inclusão de feno de leucena

Item	Palma			Nível feno			EPM	P	NF	P x NF
	Miúda	Sertânia	OEM	0	15	30				
<i>Composição nutricional (g kg⁻¹)</i>										
MO ²	90	89	84	83	89	90	0,38	0,0001	0,0001	0,0001
PB ³	119	115	110	43	135	166	3,18	0,1419	0,0001	0,0017
FDN ⁴	335	380	411	219	449	458	9,98	0,0001	0,0001	0,0001
FDA ⁵	169	153	185	103	198	205	5,92	0,0018	0,0001	0,0005
LIG ⁶	113	184	130	92	177	158	21,68	0,0730	0,0241	0,2758
DIVMS ⁷	713	686	675	901	589	585	7,29	0,0029	0,0001	0,0057

¹Matéria seca; ² Matéria orgânica; ³ Proteína bruta; ⁴ Fibra em detergente neutro; ⁵ Fibra em detergente ácido; ⁶ Lignina; ⁷ Digestibilidade in vitro da matéria seca; ⁸ Regressão Polinomial com efeito Linear e Quadrático quando $P \leq 0.05$; Médias seguidas de letras distintas, dentro do mesmo fator, diferem pelo teste de t de Student a 5% de probabilidade. EPM= Erro padrão da média P= Nível de significancia entre génotipos. NF= Nível de significancia para inclusão de feno. P x NF= Interação cultivar e nível de feno

As maiores concentrações de MM foram observadas nas silagens da palma OEM independentemente do nível de inclusão, enquanto a inclusão de feno de leucena contribuiu em efeito linear e quadrático (Tabela 6). Já as concentrações de MO foram, de maneira geral, maiores nas silagens dos cultivares Miúda e Sertânia, sendo também observado efeito linear e quadrático para inclusão de feno.

Foi observado aumento nas concentrações de FDN e FDA com a inclusão de feno de leucena. As silagens sem inclusão de feno de leucena do cultivar OEM apresentaram as

maiores concentrações de FDN e FDA (Tabela 6). A inclusão de feno resultou em aumento da FDN e FDA do nível 0 para 15%, e apresentou menor variação entre os níveis 15% e 30%, contribuindo para o efeito linear e quadrático.

Não houve diferença nas concentrações de PB entre os cultivares para as silagens sem inclusão de feno de leucena. A inclusão de feno elevou a PB das silagens, sem comprometer os processos fermentativos no interior do silo. A palma Miúda apresentou maior DIVMS em comparação aos demais cultivares. A inclusão de feno de leucena contribuiu para redução DIVMS e aumento nos teores de FDA e PB, sem grandes diferenças entre os níveis de 15% e 30%, resultando em efeito linear e quadrático (Tabela 6).

Tabela 6. Desdobramento da interação entre os efeitos de cultivar de palma forrageira e níveis de inclusão de feno de leucena sobre o valor nutritivo de silagens de palma forrageira contendo níveis de feno de leucena.

Cultivar	Níveis de feno %			EP	Contraste polinomial
	0	15	30		
Matéria mineral (g/kg MS)					
Miúda	140 b	90 b	90 b	0,49	L*Q*
Sertânia	130 b	110 b	100 ab		L*Q*
OEM	220 a	130 a	110 a		L*Q*
Matéria orgânica ((g/kg MS)					
Miúda	860 a	910 a	910 a	0,65	L*Q*
Sertânia	870 a	890 a	900 ab		L*Q*
OEM	760 b	860 b	880 b		L*Q*
Fibra em detergente neutro (g/kg MS)					
Miúda	186 b	397 b	424b	16,4	L*Q*
Sertânia	157 b	477 a	505a		L*Q*
OEM	314 a	472 a	446b		L*Q*
Fibra em detergente ácido (g/kg MS)					
Miúda	93 b	208 a	205 a	9,81	L*Q*
Sertânia	64 c	185 a	208 a		L*Q*
OEM	105 a	202 a	201 a		L*Q*
Proteína bruta (g/kg MS)					
Miúda	34 a	138 a	186 a	5,38	L*Q*
Sertânia	49 a	141 a	157 a		L*Q*
OEM	47 a	127 a	158 a		L*Q*
Digestibilidade in vitro da MS (g/kg MS)					
Miúda	895 a	637 a	607 a	12,62	L*Q*
Sertânia	913 a	581 b	565 b		L*Q*
OEM	894 a	547 b	582 b		L*Q*

Contraste polinomial para o efeito de inclusão de feno ($P \leq 0.05$): L = linear, Q = quadrático. Médias seguidas de mesmas letras nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4.4 Estabilidade aeróbia das silagens

As silagens permaneceram estáveis por mais de 60 horas de exposição ao ar, indicadas pela reduzida variação na temperatura em relação ao registrado para o ambiente (variação inferior a 2°C).

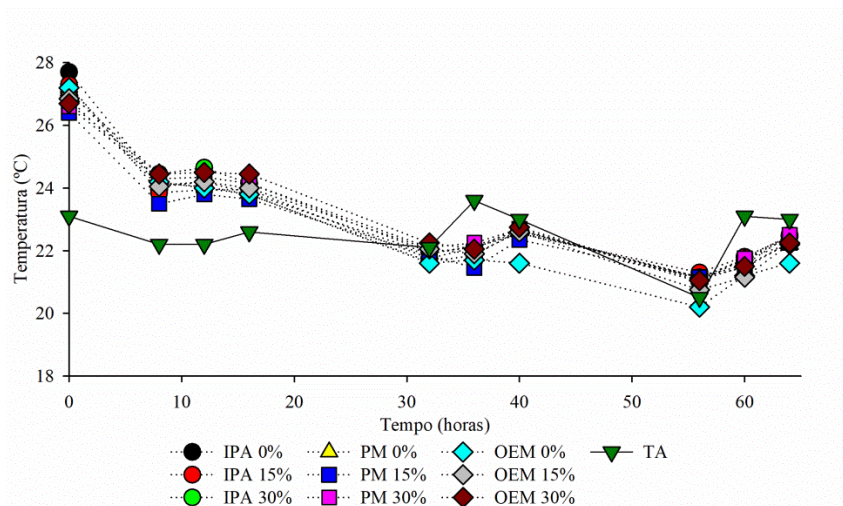


Figura 4. Estabilidade aeróbia das silagens de cultivares de palma forrageira com níveis de inclusão de feno de leucena. Cultivares: IPA: Ipa Sêrtania; PM: Palma miúda; OEM: Orelha de Elefante Mexicana; TA: Temperatura ambiente.

5. DISCUSSÃO

A palma forrageira apresenta baixo teor de matéria seca (MS) na sua composição natural (Tabela 1); por esse motivo eram esperadas grandes perdas por efluente, o que não foi observado nas silagens sem inclusão de feno de leucena. As maiores perdas de MS nas silagens da OEM em comparação com a silagem dos demais cultivares pode ser resultado de diferenças na viscosidade da mucilagem. A formação da mucilagem durante a picagem dos cladódios contribui para aumentar a retenção a água (MONRROY *et al.*, 2017) na silagem, e com isso, contribui para reduzir as perdas por efluentes.

Embora a quantidade e características da mucilagem possa contribuir reduzir as perdas por efluentes, pode favorecer o aumento da produção de gases devido ser formada por substâncias poliméricas complexas compostas principalmente por carboidratos com diversas ramificações, que incluem L-arabinose, D-galactose, L-rhamnose, D-xilose, e ácido galacturônico em diferentes proporções (SEPÚLVEDA *et al.*, 2007), que podem modificar a velocidade de fermentação durante o processo de ensilagem. A inclusão do feno de leucena

contribuiu para o aumento da MS nas silagens, e favoreceu a redução nas perdas por gases das silagens (Tabela 3). Considerado o efeito linear e quadrático observado para as perdas por gases, sugere-se que o nível de 15% de inclusão de feno já permitiria a redução nas perdas ocorridas ao longo do processo de fermentação OEM e Miúda. A menor produção de gases pode estar relacionada à redução de microrganismos produtores de gás, como as enterobactérias e bactérias do gênero *Clostridium*, que se desenvolvem em silagens mal-conservadas em decorrência do baixo teor de MS (ANDRADE *et al.*, 2010).

As maiores perdas por gases e efluentes das silagens da OEM pode estar relacionada a características físicas da mucilagem, como a possível maior liquidez da mucilagem, o que possivelmente favoreceu o aumento da produção de gás. É importante destacar que o aumento excessivo de perdas por gases pode indicar heterofermentação (VAN SOEST, 1994). De acordo com Siqueira *et al.* (2017), o aumento das perdas por gases afeta a recuperação da MS das silagens, pois o maior redutor da recuperação da MS é a produção de CO₂ por leveduras durante a fermentação dos carboidratos a etanol. Vale destacar que embora as perdas por gases e efluentes tenham sido maiores para a palma OEM, os valores observados podem ser considerados baixos quando comparados a outros recursos forrageiros utilizados no processo de ensilagem. Caregnato *et al.* (2019), avaliando silagens de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) reportaram PG de 9,59 % MS e PE de 237,7 kg t¹ de silagem, valores superiores aos reportados no presente estudo.

No momento da abertura, todas as silagens avaliadas apresentaram padrões sensoriais dentro do esperado para silagens com bom perfil fermentativo. A inclusão do feno de leucena fez com que as silagens apresentassem coloração mais escura, porém sem indícios de fermentação indesejável, como presença de mofos ou cheiro forte, podendo então ser classificadas como boas (TIBEBU *et al.* 2018). De acordo com Charley e Schmidt (2014), silagens com fermentação ideal não apresentam cheiro forte, já que o ácido lático que geralmente é o mais produzido em silagens de palma é quase inodoro. O cheiro ácido observado nas silagens indicou que o pH estaria dentro do recomendado para a conservação, o que foi confirmado pelos valores observados de pH (Tabela 2).

As boas características qualitativas das silagens foram confirmadas a partir de a partir do perfil fermentativo das silagens. As silagens apresentaram, de maneira geral, valores de pH inferiores a 5, sendo os maiores valores observados para as silagens de palma OEM, o que pode indicar um padrão de fermentação inferior em relação aos outros cultivares. De acordo com Silva *et al.* (2021), o pH é um dos principais indicativos para uma boa fermentação,

sendo esperados valores próximos a 4,2 para conservação de forragens e inibição microrganismos indesejados, embora valores de pH abaixo de 5,0 também possa permitir um bom nível de fermentação do material (RODRIGUES *et al.*, 2007).

A redução do pH está relacionada aos teores de carboidratos solúveis, que, para uma boa fermentação, tem que apresentar valores acima de 20 g kg MS e a matéria seca em torno de 250g/kg de matéria verde (GUIM; CLEMENTE, 2019). Alguns compostos presentes na palma forrageira, como o ácido oxálico, málico, malônico, ácido succínico e tartárico, resultante do metabolismo do ácido das crassuláceas, são substâncias tamponantes, o que contribui para fermentação adequada, mesmo tendo condições para fermentação excessiva devido a grande quantidade de carboidratos solúveis (PEREIRA *et al.*, 2019).

A conservação do alimento em forma de silagem é resultado da produção dos ácidos orgânicos (acético, láctico, propiônico e butírico), e o pH é o método mais rápido e prático indicar a produção desses ácidos indiscriminadamente. As silagens de palma forrageira apresentaram a predominância do ácido láctico, e a adição do feno de leucena não resultou em diferenças significativas no acúmulo de ácido láctico nas silagens. Matias *et al.* (2020), avaliando o perfil fermentativo de silagens de palma associada a maniçoba também observaram a predominância de ácido láctico nas silagens.

As maiores concentrações de ácido propiônico observados nas silagens do cultivar IPA-Sertânia em função da inclusão do feno de leucena (15 e 30%) pode indicar o maior desenvolvimento das bactérias propiônicas e heteroláticas. A presença do ácido acético pode melhorar a estabilidade aeróbia da silagem (CARVALHO *et al.*, 2014). O ácido propiônico possui menor constante de dissociação do hidrogênio, o que resulta em elevação do pH, podendo favorecer o desenvolvimento de microrganismos indesejáveis ao processo de conservação. Entretanto, efeito negativo proporcionado pelo ácido propiônico se sobrepõe à melhoria da estabilidade, tornando a sua presença em grandes concentrações um problema para a conservação das silagens (RUTENBERG *et al.*, 2016).

Entre as silagens de variedades de palma forrageira com e sem inclusão de feno de leucena, as do cultivar Miúda foram as que apresentaram as menores concentrações de ácido butírico, indicando que, entre as variedades estudadas, a Miúda é a que apresenta silagens com melhores características fermentativas. Vale destacar que o cultivar Miúda também apresenta maiores teores de MS na massa pré-ensilada (Tabela 1), o que pode ter favorecido a fermentação. Embora as silagens de todas as variedades de palma forrageira tenham

apresentado resposta linear e quadrática a inclusão de feno, os valores observados para os cultivares Sertânia e OEM foram sempre superiores. A produção desse ácido butírico é considerada indesejada para a qualidade das silagens, pois pode indicar o crescimento de microrganismos do gênero *Clostridium*, bactérias que transformam os carboidratos solúveis e o ácido láctico em ácido butírico e apresentam potencial desaminar as proteínas, elevando os teores de N-NH₃. Silagens com grandes concentrações de ácido butírico podem contribuir para a redução do consumo dos animais (OGUNADE *et al.*, 2012).

As menores concentrações do ácido acético foram observadas nas silagens da palma OEM, com pequenas variações entre os níveis de inclusão de feno, o que pode ser resultado das maiores perdas de MS (Tabela 2). A presença do ácido acético é resultado da atuação de enterobactérias, grupo de microrganismos que contribuem para redução da qualidade da silagem em função da menor acidificação do meio (MACEDO; SANTOS, 2019).

As silagens de variedades de palma forrageira apresentaram diferenças em relação a produção de etanol e resposta a inclusão de feno. O cultivar Miúda apresentou maiores teores de etanol nas silagens sem a inclusão de feno de leucena e redução com a inclusão do feno, enquanto que no cultivar OEM, a inclusão de feno aumentou linearmente a produção de etanol (Tabela 2). O aumento da produção de etanol geralmente indica a presença de leveduras e bactérias heterofermentativas. Possíveis diferenças na população epífita da massa ensilada das variedades forrageira com o feno de leucena podem ter contribuído com modificações no processo de fermentação, afetando a utilização de carboidratos solúveis e conversão em etanol e CO₂ (CARVALHO *et al.*, 2014)

Embora tenham ocorrido diferenças no perfil fermentativo das silagens, os valores observados para N-NH₃ de todas as variedades e em todos os níveis de inclusão de feno mantiveram-se abaixo de 100 g kg do N total, valor considerado crítico (COSTA *et al.* (2016), indicando que as silagens estavam bem fermentadas. O aumento da concentração de N-NH₃ indica a presença de *Clostridium* e enterobactérias é característica de silagens com fermentação inadequada. Apesar do baixo teor de MS e alto teor de carboidratos solúveis, o que poderia favorecer a ocorrência de fermentação excessiva em silagens de palma forrageira (BRITO *et al.*, 2020) sem inclusão de feno de leucena, no presente estudo não foram observados indicativos de fermentação indesejável.

As silagens de palma forrageira sem inclusão de feno de leucena apresentaram valores de MS abaixo de 100 g kg MV, o que poderia afetar o processo fermentativo. De acordo

Nogueira *et al.* (2015), as silagens de palma forrageira deveriam ter valores mínimos de MS entorno de 120 g kg MV, para reduzir as perdas de nutrientes. A palma forrageira tende a apresentar menor teor de MS durante o período chuvoso, época em que ocorre maior acúmulo de forragem da leucena. Com isso, a produção de feno e utilização de feno de leucena na confecção de silagens de palma poderia contribuir para ganhos qualitativos, além de contribuir para redução das PE. Além disso, cultivares que geralmente apresentam maiores teores umidade, como a palma OEM, poderiam ser beneficiadas durante o processo de ensilagem pela adição de um material desidratado (feno).

As concentrações de MS da palma no período chuvoso podem atingir valores próximos a 37g kg MV devido ao maior aparecimento de cladódios jovens enquanto na época com escassez de chuva a MS varia entre 120 - 155 g kg MV (RAMOS *et al.*, 2011; NOGUEIRA, 2015; BRITO, 2017), indicando também para a necessidade de considerar aspectos relacionados ao clima para determinar o momento da colheita da palma para utilização no processo de ensilagem. A adição de forragens desidratadas (feno) pode elevar o teor de MS, favorecer o processo de fermentação, e no caso do uso do feno de leucena, trazer melhorias a composição química da silagem.

A inclusão de feno de leucena levou à redução da concentração de MM na silagem devido a menor concentração de minerais na leguminosa. Embora os teores de MM sejam próximos entre cultivares (Tabela 4), a palma OEM geralmente apresenta maiores concentrações. Os minerais presentes na palma forrageira, como Mg, Ca e Na, tendem a aumentar o poder tampão das silagens (ÁVILA *et al.*, 2009). A associação da palma e o feno de leucena no processo de ensilagem pode contribuir para equilibrar os teores de MM.

A adição de feno de leucena contribuiu para aumentos nas concentrações de FDN e FDA das silagens. Baixos valores de FDN podem favorecer a desaminação da proteína e formação de compostos nitrogenados, devido a possíveis melhorias na adesão dos microrganismos no substrato (ARREOLA *et al.*, 2019). Vale destacar que a palma forrageira deve ser fornecida juntamente com alimentos ricos em fibra fisicamente efetiva (ROCHA FILHO *et al.*, 2020) e a adição do feno de leucena pode atender a essa necessidade e ainda otimizar o processo de fornecimento aos animais.

A palma forrageira apresenta baixas concentrações de PB (Tabela 4); com isso, a inclusão de feno contribuiu para melhorar consideravelmente a concentração de PB no material ensilado (Tabela 4). O aumento da concentração de PB pode dificultar a redução do

pH por elevar poder tampão da massa ensilada. Contudo, no caso da palma forrageira que apresenta elevada concentração de carboidratos solúveis, a adição do feno de leucena pode contribuir para reduzir os riscos de fermentação excessiva devido ao seu possível impacto na velocidade de redução do pH.

A inclusão de feno de leucena levou a redução da digestibilidade das silagens; contudo, é importante destacar que em situações em que as perdas são reduzidas, a variação no valor nutricional ocorre basicamente em função das proporções da mistura e características dos alimentos utilizados. Entre as variedades de palma, a Miúda foi a que apresentou maior DIVMS (Tabela 4). Considerando que o feno utilizado foi semelhante para todas as silagens, a variação na DIVMS entre variedades pode ser resultado da composição química da mucilagem (PEREIRA *et al.*, 2022). No entanto, não houve grandes variações entre a DIVMS dos materiais antes (Tabela 1) e após a ensilagem (Tabela 4), embora fosse possível acontecer um aumento da DIVMS em função das atividades dos microrganismos durante o processo fermentativo (RABELO *et al.*, 2014).

Mesmo com variações no perfil fermentativo e valor nutricional das silagens em função do cultivar e nível de inclusão de feno de leucena, as silagens apresentaram elevada estabilidade após expostas ao ar, uma vez que não ocorreu a quebra da estabilidade aeróbia durante o período de monitoramento de 60h no presente trabalho. Santos *et al.* (2020), avaliando silagens de palma forrageira reportaram que a que a perda da estabilidade aeróbia pode ocorrer após 96 horas devido a produção de ácido acético durante o processo de fermentação que contribui para reduzir a atividade de microrganismos aeróbios. Pereira *et al.* (2021), avaliando silagens de palma forrageira indicaram que a demora para a quebra da estabilidade das silagens de palma forrageira pode estar relacionada a grande concentração de ácido láctico presente nessas silagens. No presente estudo, as silagens apresentaram elevadas concentrações de ácido láctico, mesmo com a adição de feno de leucena.

6. CONCLUSÕES

As silagens de palma forrageira apresentam boas características fermentativas, e a inclusão de feno de leucena pode contribuir para melhorar o teor de PB e de FDN sem afetar o perfil fermentativo. A inclusão do feno de leucena aumentou a concentração de MS melhorou o perfil das silagens do cultivar OEM e reduziu as perdas de MS, mas reduziu a digestibilidade da matéria seca.

As variedades de palma forrageira apresentaram padrões satisfatórios de fermentação; contudo, as silagens da palma Miúda com e sem inclusão de feno de leucena apresentaram menores concentrações de ácido butírico e melhor DIVMS em comparação a IPA Sertânia e OEM.

O aumento do nível de inclusão de feno de leucena contribuiu para a elevação do pH, embora as silagens ainda permaneceram com acidez suficiente para a conservação.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, I. V. O. *et al.* Perdas, características fermentativas e valor nutritivo da silagem de capim-elefante contendo subprodutos agrícolas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, p. 2578-2588, 2010.

ARAÚJO, T. P. M. **Palma forrageira na alimentação de cabras leiteiras**. Tese (Doutorado), Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Recife, 2020. 66f.

ARRIOLA, K. G. *et al.* Effect of microbial inoculants on the quality and aerobic stability of bermudagrass round-bale haylage. **Journal of Dairy Science**, v.98, p.478–485. 2015. DOI:10.3168/jds.2014-8411.

ÁVILA, C. L. S. *et al.* Estabilidade aeróbia de silagens de capim-mombaça tratadas com *Lactobacillus buchneri*. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 5, p. 779-787, 2009. 2021; 2013; 2015; 2019; 2022.

BAYÃO, X.Y. *et al.* Desidratação e composição química do feno de Leucena (*Leucena leucocephala*) e Gliricídia (*Gliricidia sepium*). **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 17, p. 365-373, 2016. DOI:10.1590/S1519-99402016000300004.

BEZERRA NETO, E.; BARRETO, L.P. **Métodos para Análise Química em Plantas**. Recife: Imprensa Universitária da UFRPE, 2011. Disponível em: <http://editora.ufrpe.br/node/18>. Acesso em: 08 abril 2022.

BOLSEN, K. K. *et al.* Effect of silage additives on the microbial succession and fermentation process of alfalfa and corn silages. **Journal of Dairy Science**, v.75, p.3066-3083. 1992. DOI:10.3168/jds.S0022-0302(92)78070-9.

BRITO, G. S. M. S. *et al.* Mixed silages of cactus pear and gliricídia: chemical composition, fermentation characteristics, microbial population and aerobic stability. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p. 1-13, 2020.

BRITO, G. S. M. *et al.* Mixed silages of cactus pear and gliricidia: chemical composition, fermentation characteristics, microbial population and aerobic stability. **Scientific Reports**, v.10, p.1-13. 2020. DOI: 10.1038/s41598-020-63905-9.

CAREGNATO, N. E. *et al.* Fermentação e composição bromatológica da silagem de cana-de-açúcar inoculada com *Lactobacillus buchneri*, associada ou não à adição de fontes de carboidratos. **Ciência Animal Brasileira**, v.20, e-50390, 2019. DOI:10.1590/1089-6891v20e-50390.

CARVALHO, B. F. *et al.* Aerobic stability of sugar-cane silage inoculated with tropical strains of lactic acid bacteria. **Grass and Forage Science**, v. 70, n. 2, p. 308-323, 2014.

CAVALCANTI, M. C. A. *et al.* Consumo e comportamento ingestivo de caprinos e ovinos alimentados com palma gigante (*Opuntia ficus-indica* Mill) e palma orelha-de-elefante (*Opuntia sp.*). **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 30, n. 2, p. 173-179, 2008.

CHARLEY, B.; SCHMIDT R. J. **Use your senses to evaluate silage**. Disponível em: <https://www.agproud.com/articles/33917-use-your-senses-to-evaluate-silage>. Acesso em: 10 jul. 2022.

COSTA, N. *et al.* **Formação e manejo de pastagens de Leucena em Rondônia**. RT/30, EMBRAPA-CPAF Rondônia, jul./2001, p. 2-2.

COSTA, R. F. *et al.* Agronomic characteristics of sorghum genotypes and nutritional values of silage. **Acta Scientiarum Animal Sciences**, v.38, p.127-133. 2016. DOI:10.4025/actascianimsci.v38i2.29567.

DETMANN, E. *et al.* **Métodos para análise de alimentos**. Visconde do Rio Branco- MG: Suprema, 350p. 2021.

DUBEUX JR, J.C.B. *et al.* Nutritive value of raketamena (*Opuntia stricta*) as a fodder in Madagascar. **Acta horticulturae**, n. 1247, pp. 73-80, 2019.

DUBEUX JR, J. C. B. *et al.* Cactus (*Opuntia* and *Nopalea*) nutritive value: A review. **Animal Feed Science and Technology**, v.275, p.114890, 2021. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2021.114890.

DUBEUX JR, J. C. B. *et al.* Cactus: the new green revolution in drylands. **Acta Horticulturae**, v.1343, pp.233-240, 2022. DOI: 10.17660/ActaHortic.2022.1343.31.

DUBEUX JR, J. C. B. *et al.* Potential of cactus pear in South America. **Cactusnet Newsletter**, v. 13, pp. 29-40, 2013.

DUBEUX JR, J. C. B. *et al.* Forage Potential of Cacti on Drylands. **Acta Horticulturae**, n. 1067, pp. 181–186, 2015.

GAMA, M. A. S. *et al.* Partially replacing sorghum silage with cactus (*Opuntia stricta*) cladodes in a soybean oil-supplemented diet markedly increases trans-11 18: 1, cis-9, trans-11 CLA and 18: 2 n-6 contents in cow milk. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, v. 105, n. 2, pp. 232-246, 2021.

GALEANO, V. J. L. *et al.* Productive responses of dairy goats fed on diets containing elephant grass (*Pennisetum purpureum*) associated or not with cactus (*Opuntia stricta*)

cladodes, and extra-fat whole corn germ as a substitute for corn. **Small Ruminant Research**, v. 207, p. 106609, 2022.

GALVÃO JR, J. G. B. *et al.* Palma forrageira na alimentação de ruminantes: cultivo e utilização. **Acta Veterinaria Brasilica**, v.8, p.78-85. 2014. DOI: 10.21708/avb.2014.8.2.3490

GUIM, A.; CLEMENTE, J. V. F. Fatores que Determinam a Qualidade de Silagens e Fenos. In: I Simpósio Paraibano de Conservação de Forragem Forragens: tecnologias e inovações para a pecuária nordestina, 2019, **Anais** – CCA/UFPB. Areia - PB. Disponível em: www.even3.com.br/anais/SICONFOR/199338-FATORES-QUE-DETERMINAM-A-QUALIDADE-DE-SILAG. Acesso em: 08 maio 2022.

GUSHA, J. *et al.* The nutritional composition and acceptability of cacti (*Opuntia ficus indica*)-legume mixed silage. **Online Journal of Animal and Feed Research**, v.3, p.116-120. 2013.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). Disponível em: <http://www.inmet.gov.br>. Acesso em: ago. 2019.

KALEGOWDA, P. *et al.* *Opuntia dillenii* (Ker-Gawl) Haw cladode mucilage: Physico-chemical, rheological and functional behavior. **Carbohydrate Polymers**, v.157, pp.1057-1064. 2017. DOI:10.1016/j.carbpol.2016.10.070.

KUNG JR, L. *et al.* Microbial populations, fermentation end-products, and aerobic stability of corn silage treated with ammonia or a propionic acid-based preservative. **Journal of Dairy Science**, v.83, p.1479-1486. 2000. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(00)75020-X.

LITTELL, R.C. *et al.* **SAS for Mixed Models**, 2nd ed. SAS Institute, Cary, 2006.

MACÊDO, A. J. D. S. *et al.* Silages in the form of diet based on spineless cactus and buffelgrass. **African Journal of Range & Forage Science**, v.35, p.121-129, 2018. DOI: 10.2989/10220119.2018.1473494.

MACÊDO, A. J. *et al.* Produção de silagem na forma de ração à base de palma: Revisão de Literatura. **REDVET. Revista Electrónica de Veterinária**, v. 18, n. 9, p. 1-11, 2017.

MACÊDO, A. J. S. e SANTOS, E. M. Princípios básicos para produção de silagem. **Arq. ciênc. vet. zool. UNIPAR**, p. 147-156, 2019.

MATIAS, A. G. S. *et al.* Fermentation profile and nutritional quality of silages composed of cactus pear and maniçoba for goat feeding. **The Journal of Agricultural Science**, v.158, p.304-312. 2020. DOI:10.1017/S0021859620000581.

MONRROY, M. *et al.* Extraction and physicochemical characterization of mucilage from *Opuntia cochenillifera* (L.) Miller. **Journal of Chemistry**, v. 2017, 2017. DOI:10.1155/2017/4301901.

NOGUEIRA, M. S. *et al.* Feed Alternatives with cactus forage silage for animal nutrition. **International Journal of Agriculture and Biology**, v.21, p.955-961, 2019. DOI: 10.17957/IJAB/15.1213.

OGUNADE, I. M. *et al.* Control of *Escherichia coli* O157:H7 in contaminated alfalfa silage: Effects of silage additives. **Journal of Dairy Science**, v. 95, p. 3354-3362, 2012.

PEREIRA, D. M. *et al.* Effect of cactus pear as a moistening additive in the production of rehydrated corn grain silage. **The Journal of Agricultural Science**, v.159, p.731-742. 2021. DOI:10.1017/S002185962100099X.

PEREIRA, E. S. *et al.* Avaliação da qualidade nutricional de silagens de milho (*Zea mays*, L). **Revista Caatinga**, v.20, p.8-12. 2007.

PEREIRA, G. A. *et al.* Isolation and identification of lactic acid bacteria in fresh plants and in silage from *Opuntia* and their effects on the fermentation and aerobic stability of silage. **The Journal of Agricultural Science**, v.157, p.684-692. 2019. DOI:10.1017/S0021859620000143.

PEREIRA, L.S.; CORDERY, I.; IACOVOS, I. Improved indicators of water use performance and productivity for sustainable water conservation and saving. **Agricultural Water Management**, v.108, p.39-51. 2012. DOI: 10.1016/j.agwat.2011.08.022.

PESSOA, D. V. *et al.* Forage nutritional differences within the genus *Opuntia*. **Journal of Arid Environments**, v. 181, p. 104243, 2020. DOI: 10.1016/j.jaridenv.2020.104243.

PLAYNE, M. J.; MCDONALD, P. The buffering constituents of herbage and of silage. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.17, pp.264-268. 1966. DOI: 10.1002/jsfa.2740170609.

PORDEUS NETO, J. *et al.* Balanço hídrico e excreção renal de metabólitos em ovinos alimentados com palma forrageira (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck). **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v. 36, p. 322-328, 2016.

POSSENTI, R. A. *et al.* Efeitos de dietas contendo *Leucaena leucocephala* e *Saccharomyces cerevisiae* sobre a fermentação ruminal e a emissão de gás metano em bovinos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, pp.1509-1516, 2008. DOI: 10.1590/S1516-35982008000800025.

RAMOS, J. P. *et al.* Crescimento da palma forrageira em função da adubação orgânica. **Revista Eletrônica de Veterinária**, v.16, pp.1-11. 2015.

RIEGER, D.V.; LYNE, S.T. Cactus silage. **Patente** No. 866,496, United Patent Office – Kansas City, Missouri , 1907.

ROCHA FILHO, R. R. *et al.* Can spineless forage cactus be the queen of forage crops in dryland areas? **Journal of Arid Environments**, v. 186, p. 104426, 2021.

RODRIGUES, P. H. M. *et al.* Efeito da inclusão de polpa cítrica peletizada na confecção de silagem de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, Schum.). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, n. 6, p. 1751-1760, 2007.

RUTENBERG, R. *et al.* Encapsulated propionic acid as a silage additive. **Israel Journal of Plant Sciences**, v. 63, n. 1, pp. 58-63, 2016.

SÁ, W. C. C. S. *et al.* Fermentative characteristics and chemical composition of cochineal nopal cactus silage containing chemical and microbial additives. **Journal of Agricultural Science**, v.158, p.574-582. DOI:10.1017/S0021859620000829.

SANTANA NETO, J. A. S. *et al.* Distúrbios metabólicos em ruminantes—Uma Revisão. **Revista Brasileira de Higiene e Sanidade Animal**, v. 8, n. 4, pp. 157-186, 2014.

SANTOS, D. C. *et al.* **Manejo e utilização da palma forrageira (*OpuntiaeNopalea*) em Pernambuco**. Recife: IPA, 2006. 48p. (IPA. Documentos, 30).

SANTOS, D.C.; LIRA, M.A; SILVA, M.C. Genótipos de palma forrageira para áreas atacadas pela cochonilha do carmim no Sertão Pernambucano. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 6, 2011, Búzios. **Anais...** Búzios: SBMP, 2011.

SANTOS, F. N. S. *et al.* Fermentation profile, microbial populations, taxonomic diversity and aerobic stability of total mixed ration silages based on Cactus and Gliricidia. **The Journal of Agricultural Science**, v.158, p.396-405. 2020. DOI:10.1017/S0021859620000805.

SANTOS. M. V. F. *et al.* Efeito do período de armazenamento pós-colheita sobre o teor de matéria seca e composição química das palmas forrageiras. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.27, pp.777-783, 1992.

SEPÚLVEDA, E. *et al.* Extraction and characterization of mucilage in *Opuntia spp.* **Journal of arid environments**, v. 68, n. 4, pp. 534-545, 2007.

SILVA, C. C. F.; SANTOS, L. C., Palma Forrageira (*Opuntia Fícus-Indica* Mill) como alternativa na alimentação de ruminantes. **REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria**, v. 7, n. 10, pp. 1-13, 2006.

SILVA, D.J.; QUEIROZ, A.C. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2002, 235p.

SILVA, I. R. D. *et al.* Valor nutritivo de silagens de cana-de-açúcar com diferentes aditivos bacterianos e períodos de fermentação. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v.21. 2020.

SILVA, M. D. A. *et al.* Avaliação da composição químico-bromatológica das silagens de forrageiras lenhosas do semiárido brasileiro. **Semina: Ciências Agrárias**, v.36, pp.571-577, 2015. DOI: 10.5433/1679-0359.2015v36n1p571.

SILVA, T. S. *et al.* Water intake and ingestive behavior of sheep fed diets based on silages of cactus pear and tropical forages. **Tropical Animal Health and Production**, v.53, p.1-7. 2021. DOI: 10.1007/s11250-021-02686-3.

- SILVA, T. G. P. *et al.* Diets containing cactus cladodes on serum and liver levels of microminerals in sheep and goats. **Tropical Animal Health and Production**, v. 54, n. 4, pp. 1-8, 2022.
- DA SILVA, V. L. *et al.* Caracterização físico-química e bioquímica do farelo de palma forrageira redonda (*Opuntia ficus*) utilizado na alimentação de. **Pubvet**, v. 5, p. Art. 999-1004, 2011.
- SIQUEIRA, M.C.B. *et al.* Optimizing the use of spineless cactus in the diets of cattle: Total and partial digestibility, fiber dynamics and ruminal parameters. **Animal Feed Science and Technology**, v. 226, pp. 56-64, 2017.
- SOUZA, A. F. N. *et al.* Carcass traits and meat quality of lambs fed with cactus (*Opuntia ficus-indica* Mill) silage and subjected to an intermittent water supply. **PLoS One**, v.15, e0231191, 2020. DOI: 10.1371/journal.pone.0231191.
- TEIXEIRA, C. E. F.; FONTANELI, R. S. Sensory evaluation of winter cereal silage. **J. Chem. Chem. Eng.** V. 11, pp. 102-106, 2017. DOI: 10.17265/1934-7375/2017.03.004.
- TIBEBU, M. *et al.* Evaluation of sensory silage quality, chemical composition and in vitro digestibility of Tef (*Eragrostis tef*) Straw inoculated with effective microorganisms (EM) at different application rates and ensiled for different durations. **Greener Journal of Agricultural Sciences**, v.8, p. 286-293. 2018. DOI:10.15580/GJAS.2018.10.101518048
- v. 5, n. 2, pp. 1-13, 2011.
- VAN SOEST, P. J. **Ecologia Nutricional do Ruminante**, 2^a ed., Ithaca: Cornell University Press, p. 476, 1994.
- VASTOLO, A. *et al.* Silage of prickly pears (*Opuntia spp.*) juice by-products. **Animals**, v.10, p.1716, 2020. DOI: 10.3390/ani10091716.
- VERAS, R. M. L. *et al.* Farelo de palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill) em substituição ao milho: 1. digestibilidade aparente de nutrientes. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 31, pp. 1302-1306, 2002.
- WOLFINGER, R. Covariance structure selection in general mixed models. **Communications in Statistics: Simulation and Computation**, v. 22, pp.1079–1106. 1993. DOI: 10.1080/03610919308813143.
- ZANINE, A. D. M. *et al.* Evaluation of elephant grass silage with the addition of cassava scrapings. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, pp.2611-2616. 2010. DOI: 10.1590/S1516-35982010001200008.