



Programa de Pós – Graduação em Zootecnia

**QUALIDADE DO LEITE DE VACAS ALIMENTADAS COM
NÍVEIS CRESCENTES DE PALMA FORRAGEIRA ENSILADA**

HENRIQUE DE SOUZA NOGUEIRA

2026

HENRIQUE DE SOUZA NOGUEIRA

**QUALIDADE DO LEITE DE VACAS ALIMENTADAS COM NÍVEIS CRESCENTES DE PALMA
FORRAGEIRA ENSILADA**

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 no Semiárido, para obtenção do título de Mestre.

Orientador(a)

Prof. Dr. Vicente Ribeiro Rocha Junior

Janaúba-MG

2026

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

Nogueira, Henrique de Souza

N778q

Qualidade do leite de vacas alimentadas com níveis crescentes de palma forrageira
ensilada [manuscrito] / Henrique de Souza Nogueira – 2026.
58 p.

Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Zootecnia,
Universidade Estadual de Montes Claros – Janaúba, 2026.

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

1. Bovinos de leite. 2. Leite Qualidade. 3. Nutrição de ruminantes. 4. Palma
forrageira. 5. Silagem. I. Rocha Júnior, Vicente Ribeiro. II. Universidade Estadual de
Montes Claros. III. Título.

CDD. 637.127

Catálogo: Joyce Aparecida Rodrigues de Castro Bibliotecária CRB6/2445

Ata de Reunião

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Nome do Acadêmico: Henrique de Souza Nogueira

CPF do Acadêmico: 107.545.086-17

Programa de Pós-graduação em Zootecnia

Nível: Mestrado

Departamento: Ciências Agrárias

Título da dissertação: “ **QUALIDADE DO LEITE DE VACA ALIMENTADAS COM NÍVEIS CRESCENTES DE PALMA FORRAGEIRA ENSILADA**”

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. Vicente Ribeiro Rocha Júnior/ Presidente/ UNIMONTES

Dr. Flávio Pinto Monção/ Membro Interno/ UNIMONTES

Dra. Luciana Albuquerque Caldeira Rocha/Membro Interno/ UNIMONTES

Dr. André Santos de Souza/Membro Interno/UNIMONTES

M.S., Ph.D. André Fonseca de Brito/ Membro Externo/University of New Hampshire

Resultado: Aprovado

- Nota: 9,0

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

APRECIACÃO SOBRE A DISSERTAÇÃO

Aos **11 dias do mês de março de 2026**, às 16:00h, pela plataforma Google Meet, realizou-se a defesa da dissertação do acadêmico **Henrique de Souza Nogueira**, 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, **Vicente Ribeiro Rocha Júnior**, 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 **Vicente Ribeiro Rocha Junior, Professor(a)**, em 14/03/2026, às 16:18, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 47.222, de 26 de julho de 2017](#).



Documento assinado eletronicamente por **André Santos De Souza registrado(a) civilmente como André Santos de Souza, Usuário Externo**, em 14/03/2026, às 18:35, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 47.222, de 26 de julho de 2017](#).



Documento assinado eletronicamente por **Flávio Pinto Monção, Professor(a)**, em 15/03/2026, às 07:31, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 47.222, de 26 de julho de 2017](#).



Documento assinado eletronicamente por **Luciana Albuquerque Caldeira Rocha, Professor(a)**, em 18/03/2026, às 21:24, 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 **Andre Fonseca de Brito, Usuário Externo**, em 22/04/2026, às 12:16, 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 **135236289** e o código CRC **592DA728**.

Referência: Processo nº 2310.01.0004234/2021-16

SEI nº 135236289

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, por sempre guiar meus caminhos, iluminar minhas decisões e me conceder força, sabedoria e perseverança para superar os desafios e alcançar mais esta conquista em minha trajetória acadêmica.

Aos meus pais, Paulo Nogueira e Ana Lucia Nogueira, por todo amor, dedicação e apoio incondicional ao longo de toda a minha vida. Vocês são minha base, meu exemplo e minha maior inspiração. À minha irmã, Mariana Nogueira, pelo companheirismo, incentivo constante e por estar sempre ao meu lado nos momentos mais importantes.

À minha namorada, Mell Prado, por todo o carinho, compreensão e suporte durante este período. Sua presença foi fundamental para que eu mantivesse o equilíbrio, a motivação e a confiança necessários para seguir em frente.

Ao meu orientador, professor Dr. Vicente Ribeiro, pela orientação, dedicação, paciência e valiosas contribuições ao longo de toda a construção deste trabalho. Seus ensinamentos foram fundamentais para o meu crescimento acadêmico e científico.

Agradeço também às instituições de fomento e apoio à pesquisa: à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais - FAPEMIG, pelo auxílio financeiro concedido; ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia - INCT de Ciência Animal, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES e à Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais – EPAMIG/Nova Porteirinha, pelo suporte institucional e contribuição para o desenvolvimento deste trabalho.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização desta pesquisa, o meu sincero agradecimento.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL.....	12
2. REVISÃO DE LITERATURA	14
2.1 Importância da palma forrageira para o semiárido	14
2.2 Palma forrageira na forma de silagem	16
2.3 Impacto da palma na qualidade do leite	19
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	23
4. COMPOSIÇÃO QUÍMICA, PERFIL DE ÁCIDOS GRAXOS E ÍNDICES NUTRICIONAIS DO LEITE 1 DE VACA ALIMENTADAS COM NÍVEIS CRESCENTES DE PALMA FORRAGEIRA ENSILADA	29
4.1 INTRODUÇÃO	32
4.2 MATERIAL E MÉTODOS	35
4.2.1 Aprovação do comitê de ética	35
4.2.2 Local do estudo e condições climáticas.....	35
4.2.3 Dietas Experimentais (Tratamentos) e delineamento estatístico	35
4.2.4 Coleta de dados, amostras e análises do leite.....	37
4.2.5 Avaliação do perfil de ácidos graxos.....	38
4.2.6 Índices de atividades das enzimas	39
4.2.7 Análises estatísticas	39
4.3 RESULTADOS	40
4.4 DISCUSSÃO	45
4.5 CONCLUSÃO	50
4.6 AGRADECIMENTOS	50
4.7 REFERÊNCIAS.....	51
4.8 CONSIDERAÇÕES FINAIS	58

NORMAS DA REVISTA CIENTÍFICA

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

RESUMO GERAL

NOGUEIRA, Henrique de Souza. **Qualidade Do Leite De Vaca Alimentadas Com Níveis Crescentes De Palma Forrageira Ensilada**. 2026. 49 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba, Minas Gerais, Brasil¹

A palma apresenta alta concentração de carboidratos não fibrosos e umidade, com baixos teores de fibra, características que afetam a fermentação ruminal, podendo influenciar o desempenho e saúde animal, além da qualidade do leite, especialmente sobre a fração lipídica. A ensilagem da palma tem recebido destaque crescente, como forma de favorecer a logística do sistema produtivo, reduzindo mão de obra. Entretanto, são escassos os trabalhos que avaliam uso da palma ensilada em associação a outra forrageira sobre as características do leite. Diante disso, o estudo propõe avaliar a inclusão de níveis crescentes de palma forrageira ensilada com o sorgo biomassa BRS 716 em dietas de vacas leiteiras no semiárido, analisando composição química, perfil lipídico, propriedades microbiológicas e índices nutricionais do leite. O experimento foi conduzido com dez vacas distribuídas em dois quadrados latinos 5x5 simultâneos, utilizando cinco dietas contendo 0%, 15%, 30%, 45% e 60% de palma forrageira na silagem. A produção de leite corrigida para 3,5% de gordura não foi influenciada ($P>0,05$) pelos níveis de inclusão de palma forrageira na dieta, apresentando média de 13,57 kg/dia, assim como os teores de gordura (3,57%), proteína (2,76%), lactose (4,55%) e sólidos totais (11,90%), bem como os parâmetros microbiológicos, incluindo contagem de células somáticas ($10,04 \times 10^3$ CS/mL) e contagem padrão em placas ($3,06 \times 10^3$ UFC/mL). Observou-se efeito linear decrescente ($P<0,05$) para o nitrogênio ureico do leite, ajustado pela equação $\hat{y} = 17,37 - 0,044x$ ($R^2 = 0,48$). Entretanto, níveis crescentes de palma alteraram significativamente o perfil de ácidos graxos da gordura do leite, com aumento do ácido palmítico (C16:0) e redução das concentrações de ácidos graxos monoinsaturados, poli-insaturados, de cadeia ímpar, ramificados e ômega 3. Consequentemente, os índices nutricionais da gordura do leite indicaram redução da

¹ Comitê de Orientação: Prof. Dr. Vicente Ribeiro Rocha Junior (Orientador); Profa. Luciana Albuquerque Caldeira Rocha (Co-Orientadora); Prof. Flávio Pinto Monção (Co-Orientador).

qualidade funcional com o aumento da inclusão de palma forrageira ensilada na dieta das vacas. Conclui-se que a inclusão de palma forrageira ensilada associada ao sorgo biomassa BRS 716 na dieta de vacas leiteiras ¾ Holandês × Zebu é uma estratégia viável para sistemas de produção no semiárido, uma vez que níveis de até 60% na silagem não comprometem o desempenho produtivo nem os principais parâmetros físico-químicos e microbiológicos do leite. No entanto, sob o ponto de vista nutricional da gordura do leite, níveis superiores a 45% de inclusão de palma forrageira promovem alterações desfavoráveis no perfil de ácidos graxos, com aumento de ácidos graxos saturados e redução de compostos de interesse funcional, refletindo negativamente nos índices nutricionais. Dessa forma, recomenda-se a utilização de níveis de até 45% de palma forrageira na silagem com o sorgo biomassa BRS 716 como estratégia mais equilibrada entre desempenho produtivo e qualidade nutricional do leite.

Palavras-chave: silagem mista; nutrição de ruminantes; composição lipídica; bovinos leiteiros; sistemas produtivos.

GENERAL ABSTRACT

NOGUEIRA, Henrique de Souza. **Milk Quality of Cows Fed Increasing Levels of Ensiled Forage Cactus**. 2026. 49 p. Dissertation (Master's in Animal Science) – State University of Montes Claros, Janaúba, Minas Gerais, Brazil.

Forage cactus presents a high concentration of non-fibrous carbohydrates and moisture, with low fiber content, characteristics that affect ruminal fermentation and may influence animal performance and health, as well as milk quality, especially regarding the lipid fraction. The ensiling of forage cactus has gained increasing attention as a strategy to improve production system logistics and reduce labor requirements. However, studies evaluating the use of ensiled cactus associated with other forages and its effects on milk characteristics are still scarce. Therefore, this study aimed to evaluate the inclusion of increasing levels of forage cactus ensiled with BRS 716 biomass sorghum in the diets of dairy cows in semiarid conditions, analyzing chemical composition, lipid profile, microbiological properties, and nutritional indices of milk. The experiment was conducted with ten cows distributed in two simultaneous 5×5 Latin squares, using five diets containing 0%, 15%, 30%, 45%, and 60% forage cactus in the silage. Milk yield corrected to 3.5% fat was not affected ($P>0.05$) by the inclusion levels of forage cactus in the diet, presenting an average of 13.57 kg/day, as well as fat (3.57%), protein (2.76%), lactose (4.55%), and total solids (11.90%) contents, and microbiological parameters, including somatic cell count (10.04×10^3 cells/mL) and standard plate count (3.06×10^3 CFU/mL). A decreasing linear effect ($P<0.05$) was observed for milk urea nitrogen, adjusted by the equation $\hat{y} = 17.37 - 0.044x$ ($R^2 = 0.48$). However, increasing levels of forage cactus significantly altered the fatty acid profile of milk fat, with an increase in palmitic acid (C16:0) and a reduction in the concentrations of monounsaturated, polyunsaturated, odd-chain, branched-chain, and omega-3 fatty acids. Consequently, the nutritional indices of milk fat indicated a reduction in functional quality with increasing inclusion of ensiled forage cactus in the cows' diet. It is concluded that the inclusion of forage cactus ensiled with BRS 716 biomass sorghum in the diet of $\frac{3}{4}$ Holstein × Zebu dairy cows is a viable strategy for production systems in semiarid regions, since levels up to 60% in the silage do not compromise productive performance or the main physicochemical and microbiological parameters of milk. However, from the nutritional perspective of milk fat, inclusion levels above 45% of forage cactus promote unfavorable

changes in the fatty acid profile, with an increase in saturated fatty acids and a reduction in compounds of functional interest, negatively affecting nutritional indices. Thus, the use of up to 45% forage cactus in silage with BRS 716 biomass sorghum is recommended as a more balanced strategy between productive performance and nutritional quality of milk.

Keywords: mixed silage; ruminant nutrition; lipid composition; dairy cattle; production systems.

1. INTRODUÇÃO GERAL

A bovinocultura leiteira é uma das atividades agropecuárias mais relevantes no Brasil, tanto pela geração de emprego e renda quanto pela oferta de alimentos de elevado valor nutricional. No entanto, em regiões semiáridas, a produção leiteira encontra limitações impostas pela irregularidade pluviométrica e pela escassez de forragens durante longos períodos de estiagem. Nesse contexto, a palma forrageira destaca-se como uma alternativa estratégica, em razão de sua elevada eficiência no uso da água e capacidade de produção de biomassa mesmo em condições de seca (Dutra et al., 2024).

A importância da palma forrageira para os sistemas produtivos do semiárido é reconhecida por seu potencial em fornecer água e energia ao rebanho, reduzindo custos e aumentando a resiliência frente às adversidades climáticas (Pastorelli et al., 2022). Além disso, a espécie contribui para a conservação do solo e para a mitigação de processos de desertificação em áreas suscetíveis, desempenhando papel ambiental relevante (Nefzaoui et al., 2014).

A associação da palma forrageira ao sorgo biomassa na forma de silagem mista fundamenta-se na complementaridade nutricional e fermentativa entre esses volumosos. A palma apresenta elevado teor de umidade e baixa fibra fisicamente efetiva, características que, quando ensilada isoladamente, podem comprometer a adequada fermentação e aumentar perdas por efluentes, por outro lado, pode agregar carboidratos solúveis ao processo fermentativo, além de sua mucilagem apresentar propriedades relacionadas a retenção de líquidos. O sorgo biomassa BRS 716, por sua vez, destaca-se pela alta produção de matéria seca, cerca de três vezes mais em relação aos genótipos comumente forrageiros, com características adaptativas ao semiárido e maior teor de fibra estrutural (EMBRAPA, 2021; Queiroz et al., 2021). Oliveira et al. (2023) demonstraram que a inclusão de palma forrageira na ensilagem de sorgo influencia positivamente o perfil fermentativo e a digestibilidade do volumoso, desde que respeitados níveis adequados de inclusão. Os autores observaram melhorias nos teores de nutrientes digestíveis e na digestibilidade in vitro em níveis moderados de palma, embora inclusões mais elevadas possam comprometer a qualidade fermentativa em função do aumento da umidade e do pH. Dessa forma, a

silagem mista de palma forrageira e sorgo biomassa representa uma estratégia tecnicamente consistente para sistemas leiteiros do semiárido, pois permite conciliar conservação eficiente do volumoso, estabilidade fermentativa e viabilidade produtiva. Além disso, o uso da palma ensilada pode contribuir para a otimização da logística do sistema produtivo, com potencial redução da demanda por mão de obra.

No plano nutricional, a palma forrageira destaca-se pelo elevado teor de carboidratos não fibrosos, os quais favorecem a fermentação ruminal. Evidências indicam que sua inclusão na dieta pode estimular a síntese de proteína microbiana e contribuir para o aumento da produção de leite em sistemas adaptados ao semiárido (De Oliveira Moraes et al., 2019). Além disso, a substituição parcial de volumosos convencionais por palma tem demonstrado eficiência na manutenção da composição do leite, sem comprometer os teores de gordura e sólidos totais (Sobral et al., 2022).

O leite é reconhecido como um alimento completo, fonte de proteínas de alto valor biológico, minerais, vitaminas e, especialmente, gordura. A composição lipídica é um dos principais atributos de qualidade, influenciada diretamente pela dieta fornecida às vacas. A inclusão da palma forrageira em dietas de vacas leiteiras, associada ou não a subprodutos agroindustriais e com a suplementação lipídica tem demonstrado impacto positivo sobre o perfil de ácidos graxos, reduzindo a proporção de saturados e elevando a presença de isômeros do ácido linoleico conjugado (CLA), com benefícios potenciais à saúde humana (Paula, 2019).

Silva et al. (2023) demonstraram que a inclusão de palma forrageira associada a subprodutos agroindustriais ricos em lipídios insaturados promove alterações no perfil de ácidos graxos do leite, com aumento de compostos de interesse funcional, como os isômeros do ácido linoleico conjugado (CLA). Tais alterações conferem maior valor agregado ao leite e seus derivados, além de atender às demandas de consumidores por alimentos mais saudáveis. Nesse sentido, a avaliação da composição química, do perfil lipídico e de aspectos microbiológicos torna-se fundamental para compreender de que forma a palma ensilada impacta a qualidade do leite produzido no semiárido (Medeiros et al., 2024).

Apesar dos avanços, ainda há lacunas quanto ao impacto da palma ensilada na qualidade do leite, sobretudo no que se refere à composição química, ao perfil de ácidos graxos e aos aspectos microbiológicos. Assim, torna-se essencial compreender como níveis

crescentes desse volumoso conservado na forma de silagem influenciam não apenas a produtividade, mas também parâmetros nutricionais e funcionais do leite, oferecendo subsídios para a formulação de dietas mais equilibradas e adaptadas às condições do semiárido.

Diante desse contexto, este estudo teve como objetivo geral avaliar os efeitos da inclusão de níveis crescentes de palma forrageira ensilada com o sorgo biomassa BRS 716 na dieta de vacas leiteiras, considerando aspectos centrais da produção em regiões semiáridas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Importância da palma forrageira para o semiárido

Segundo Pastorelli et al. (2022), a inclusão de palma forrageira na dieta de vacas leiteiras tem se mostrado uma alternativa viável para melhorar a eficiência alimentar e a produção de leite em regiões semiáridas. Pessoa et al. (2004) reforçam essa perspectiva ao observar que a utilização de palma forrageira como volumoso principal não comprometeu a produção de leite, sendo uma opção eficaz em sistemas de produção leiteira em ambientes com restrição hídrica.

A palma forrageira tem se afirmado como uma alternativa essencial para enfrentar os desafios da alimentação animal em regiões semiáridas, devido à sua adaptabilidade ao clima seco, capacidade de produção de biomassa mesmo nos períodos de estiagem e elevado teor de umidade (Paes et al., 2024). No Brasil, especialmente no semiárido nordestino, a palma destaca-se por sua capacidade de fornecer água e energia aos rebanhos, mesmo sob condições climáticas adversas (Lira et al., 2016; Araújo et al., 2020). Silva et al. (2018) demonstraram que a inclusão da palma forrageira na dieta de ruminantes pode melhorar a eficiência alimentar, em função do seu elevado teor de carboidratos não fibrosos e alta digestibilidade. Além disso, informações técnicas de extensão rural também destacam que o uso da palma pode contribuir para a redução dos custos de produção e maior resiliência dos sistemas agropecuários frente à variabilidade climática (Rehagro, 2018). Além disso, o cultivo da palma contribui para a conservação do solo e para a mitigação de processos de desertificação em áreas suscetíveis, como apontam Nefzaoui et al. (2014).

Segundo Dutra et al. (2024), a palma forrageira apresenta características morfofisiológicas que favorecem sua adaptação a regiões semiáridas, como a elevada eficiência no uso da água devido ao metabolismo ácido das crassuláceas (CAM). Os autores destacam que a planta possui baixo teor de matéria seca e elevado teor de água, o que reduz a necessidade de suplementação hídrica do rebanho (Dutra et al., 2024). Ainda conforme os mesmos autores, a palma deve ser associada a ingredientes ricos em fibra fisicamente efetiva para prevenir distúrbios digestivos, uma vez que seu uso isolado pode comprometer a eficiência da ruminação e a saúde ruminal.

De acordo com Jorge et al. (2023), a palma mantém a fixação de carbono mesmo em períodos prolongados de seca, o que garante sua produtividade e capacidade de regeneração em solos degradados. Os autores destacam que a *Opuntia ficus-indica* é considerada uma planta de metabolismo ácido das crassuláceas (CAM), caracterizada pela capacidade de continuar fixando CO₂ mesmo sob condições de déficit hídrico, acumulando grandes quantidades de carbono em seu sistema radicular e na parte aérea.

A substituição parcial do milho por palma forrageira em dietas completas tem se mostrado uma alternativa viável para sistemas leiteiros no semiárido, especialmente quando a dieta é nutricionalmente equilibrada (Araújo, 2004). Albuquerque-Sobral et al. (2022) observaram que dietas contendo palma e diferentes silagens mantiveram a produção e digestibilidade de vacas Red Sindhi em Petrolina (PE), enquanto Inácio et al. (2020) registraram que vacas Girolando (aproximadamente 13 kg/dia) mantiveram a produção e a composição do leite com a inclusão de palma forrageira e diferentes níveis de concentrado. Esses resultados corroboram os achados de Araújo et al. (2004), que demonstraram que não houve diferença ($P>0,05$) para produções de leite total e corrigida; teor e produção de gordura e eficiência alimentar, em relação às cultivares de palma utilizadas.

De acordo com De Oliveira Moraes et al. (2019), a inclusão da palma em dietas de vacas leiteiras em sistemas semiáridos, substituindo parcialmente o milho ou silagens de gramíneas tropicais, resultou em benefícios nutricionais claros. No experimento conduzido em Pernambuco, observou-se que o fornecimento de até 36,6% de cactus na dieta elevou a síntese de proteína microbiana no rúmen, estimada a partir da excreção de derivados de purinas na urina, além de promover aumento linear na produção de leite e no rendimento energético corrigido. Esses dados indicam que a palma não apenas reduz a dependência de

volumosos tradicionais, mas também mantém ou melhora a eficiência produtiva, reforçando sua utilidade em programas nutricionais adaptados ao semiárido.

Conforme levantamento de Rodrigues et al. (2024), as espécies de cactos do gênero *Opuntia* e *Nopalea* são as mais cultivadas na região semiárida do Brasil. Uma análise bibliométrica recente destacou que, desde 2020, o interesse acadêmico pelo uso de silagens de palma em consórcios com gramíneas nativas e leguminosas do semiárido tem crescido significativamente, impulsionando pesquisas que evidenciam a melhora da eficiência fermentativa, da composição nutricional e da viabilidade econômica em sistemas familiares (Paes et al., 2024).

2.2. Palma forrageira na forma de silagem

A silagem de palma forrageira tem se consolidado como uma alternativa promissora para sistemas de produção no semiárido, em virtude de sua elevada adaptabilidade às condições de déficit hídrico, alta produtividade e relevante valor nutricional (Santos et al., 2024). Nesse contexto, pesquisas recentes têm direcionado esforços para a compreensão de suas características fermentativas, tanto quando utilizada isoladamente quanto em associação com outras forragens ou subprodutos agroindustriais, evidenciando o crescente interesse científico na otimização de sua utilização em sistemas alimentares.

Entretanto, devido ao elevado teor de umidade e à baixa concentração de fibra estrutural, a palma forrageira apresenta limitações quando ensilada isoladamente, o que tem impulsionado o desenvolvimento de estratégias de coensilagem. Nesse sentido, a associação com leguminosas tem se mostrado particularmente eficiente. Sá et al. (2021) destacam que a combinação com gliricídia resulta em silagens capazes de suprir as exigências nutricionais de ruminantes, inclusive quando utilizadas como ração completa, configurando-se como uma alternativa viável e estratégica para sistemas produtivos no semiárido.

Além dos aspectos fermentativos, a utilização da silagem de palma também apresenta efeitos positivos sobre o desempenho animal. Nobre et al. (2023) observaram que a inclusão de até 42% de silagem de palma forrageira (*Opuntia ficus-indica*) na dieta de cordeiros, sob condições de fornecimento hídrico intermitente, promoveu aumento na

digestibilidade de carboidratos totais e não fibrosos, maior ingestão de água via alimento, melhor balanço hídrico e maiores ganhos de peso em comparação a dietas convencionais à base de tifton. Esses resultados reforçam o papel da palma como importante fonte de energia e água, contribuindo para a eficiência produtiva em ambientes com restrição hídrica.

A eficiência da silagem de palma forrageira está diretamente relacionada à sua associação com ingredientes que favoreçam o equilíbrio da matéria seca e do processo fermentativo. Consequentemente, a inclusão de fontes energéticas secas tem se mostrado uma estratégia eficaz para reduzir perdas e melhorar a estabilidade do material ensilado. Monção et al. (2022) demonstraram que a silagem contendo 60% de palma forrageira e 10% de milho moído apresentou menores perdas de matéria seca (MS) e matéria orgânica (MO), além de maior estabilidade aeróbia em comparação às demais silagens, evidenciando o papel do milho na melhoria da conservação e na redução de perdas nutricionais durante a ensilagem.

De forma complementar, a inclusão de leguminosas também contribui significativamente para a melhoria do perfil fermentativo e nutricional da silagem. Silva Brito et al. (2020) verificaram que níveis iguais ou superiores a 25% de gliricídia na silagem de palma promoveram aumento da estabilidade aeróbia, melhoria no perfil fermentativo (pH e ácidos orgânicos) e elevação dos teores de proteína bruta e fibra em detergente neutro (FDN), indicando produção de silagem de maior valor nutricional.

Além dos efeitos sobre a qualidade da silagem, a utilização da palma forrageira em dietas completas tem demonstrado viabilidade do ponto de vista produtivo. Sobral et al. (2022) observaram que dietas contendo 30% de palma forrageira, associadas a silagem e 45% de concentrado, mantiveram o consumo de matéria seca, a digestibilidade e a produção de leite, sem comprometer o teor de gordura, evidenciando a eficiência dessa forrageira quando integrada a diferentes fontes conservadas.

Sob essa perspectiva, a utilização da palma forrageira em silagens mistas fundamenta-se na complementaridade nutricional entre os ingredientes. Conforme destacado por Cordeiro (2021), a associação com forragens de maior teor de matéria seca, como gramíneas tropicais, favorece o processo fermentativo ao fornecer substrato para bactérias ácido-láticas, enquanto a mucilagem da palma contribui para a retenção de água e a estabilidade do material ensilado.

A proporção de inclusão da palma forrageira na ensilagem constitui um dos principais fatores determinantes da qualidade do material conservado, influenciando diretamente a composição bromatológica, a digestibilidade e o perfil fermentativo da silagem. Nesse sentido, Oliveira et al. (2023) demonstraram que níveis moderados de inclusão, de até 10% com base na matéria natural, promovem melhorias nos teores de proteína bruta, carboidratos solúveis e nutrientes digestíveis totais, além de aumento da digestibilidade in vitro. Contudo, níveis superiores a 20% resultaram em elevação do pH, do nitrogênio amoniacal e da produção de ácidos acético e butírico, indicando comprometimento do processo fermentativo, o que levou os autores a recomendarem 10% como limite seguro para manutenção da qualidade da silagem.

Esses resultados estão diretamente relacionados às características intrínsecas da palma forrageira, especialmente seu elevado teor de umidade e alta concentração de carboidratos solúveis. De acordo com Santos Sá (2018), embora essas características confirmem potencial energético e capacidade de fornecimento hídrico, também impõem desafios à conservação, tornando indispensável sua associação com forragens mais fibrosas ou com maior teor de matéria seca. Essa combinação favorece a fermentação láctica, promove redução do pH e melhora a estabilidade do material ensilado, além de contribuir para maior eficiência de utilização pelos ruminantes.

Nesse contexto, a inclusão de leguminosas tem se destacado como estratégia complementar para otimizar a qualidade da silagem. Junior et al. (2025) verificaram que a adição de feno de gliricídia em silagens contendo palma forrageira promoveu aumento nos teores de matéria seca e proteína bruta, além de favorecer condições fermentativas mais adequadas, com menor produção de nitrogênio amoniacal e valores de pH dentro da faixa ideal. Adicionalmente, observou-se redução das perdas por efluentes e melhoria na recuperação de matéria seca, indicando maior eficiência do processo de ensilagem.

No caso específico da coensilagem com sorgo, busca-se explorar a complementaridade entre os ingredientes, combinando o alto teor de carboidratos solúveis do sorgo, que favorece a rápida queda do pH, com a elevada umidade da palma, que pode influenciar a dinâmica fermentativa e a estabilidade aeróbia da silagem. Oliveira et al. (2023) observaram que níveis crescentes de palma aumentaram a digestibilidade e os nutrientes digestíveis totais, porém também comprometeram o perfil fermentativo a partir de 20% de

inclusão. Por outro lado, Marte-Pereira et al. (2025) verificaram que níveis mais elevados podem ser vantajosos em determinadas condições, com efeito quadrático sobre a população de bactérias ácido-láticas e recuperação de matéria seca, além de melhoria na estabilidade aeróbia, sendo estimado um ponto ótimo em torno de 50% de inclusão.

2.3. Impacto da palma na qualidade do leite

A inclusão da palma forrageira na dieta de vacas leiteiras pode influenciar a qualidade do leite principalmente por meio de alterações no metabolismo ruminal, especialmente em função do seu elevado teor de carboidratos não fibrosos de rápida fermentação. Essa característica favorece a sincronização entre energia e nitrogênio no rúmen, aumentando a eficiência da síntese de proteína microbiana e o aproveitamento do nitrogênio dietético (Guimarães et al., 2023). Como consequência, observa-se redução nas concentrações de ureia no leite e na urina, indicando maior eficiência metabólica e menor desperdício de nitrogênio.

Nesse contexto, Guimarães et al. (2023) verificaram redução linear do nitrogênio ureico em vacas Girolando alimentadas com palma forrageira em substituição parcial ao feno de capim-Tifton. Esses resultados estão em consonância com os achados de Ferreira et al. (2009), que destacam que a concentração de ureia no leite é um importante indicador do metabolismo proteico, refletindo diretamente o equilíbrio entre a disponibilidade de nitrogênio e energia no rúmen. Do ponto de vista fisiológico, o aumento da amônia ruminal eleva a concentração de ureia no sangue, que posteriormente é difundida para o leite, conforme descrito por Cruz (2002). Assim, a redução do nitrogênio ureico observada em dietas com palma sugere melhor sincronização ruminal e maior eficiência de utilização dos nutrientes.

Além dos efeitos sobre o metabolismo proteico, a palma forrageira também pode influenciar o desempenho produtivo, dependendo da forma de inclusão na dieta. Cavalcanti et al. (2008) demonstraram que a utilização de palma forrageira enriquecida com ureia, em substituição ao feno de capim-Tifton, promoveu aumento linear na produção de leite e na eficiência alimentar, sem comprometer o teor de gordura, evidenciando que a adequada suplementação proteica pode potencializar os efeitos positivos da palma na dieta.

Por outro lado, a substituição de ingredientes energéticos tradicionais, como o milho, pela palma forrageira pode apresentar limitações quando não há adequado balanceamento nutricional. Almeida (2014) observou redução no desempenho de fêmeas leiteiras em crescimento submetidas a esse tipo de substituição, indicando que o uso da palma deve considerar fatores como exigência nutricional, fase produtiva e viabilidade econômica do sistema.

Quando inserida em dietas completas e balanceadas, a palma forrageira tem demonstrado resultados consistentes na manutenção da produção e da qualidade do leite. Sobral et al. (2022) verificaram que a inclusão de palma associada a diferentes fontes de silagem e concentrado não afetou a produção de leite corrigida para 3,5% de gordura, nem os teores de gordura e a eficiência alimentar, evidenciando que sua utilização pode ser realizada sem prejuízo aos parâmetros produtivos e qualitativos, desde que integrada de forma adequada à dieta.

Nesse sentido, Medeiros et al. (2024) demonstraram que a substituição parcial da silagem de milho por cladódios de *Opuntia* spp., combinados com bagaço de cana-de-açúcar, resultou em aumento da produção de leite corrigido para gordura (24,17 kg/dia), redução do teor de gordura (de 3,26 para 2,35%) e elevação dos teores de proteína, lactose e sólidos totais. A redução do teor de gordura pode ser explicada pelo aumento da proporção de carboidratos não fibrosos na dieta, o que favorece a produção de propionato no rúmen em detrimento do acetato, principal precursor da síntese de gordura no leite. Além disso, o menor teor de fibra fisicamente efetiva pode reduzir a ruminação e a produção de saliva, contribuindo para alterações no ambiente ruminal que limitam a lipogênese mamária.

Além da composição da dieta, a forma de processamento e fornecimento da palma também influencia a utilização dos nutrientes. Vilela et al. (2010) observaram que diferentes estratégias de fornecimento como dieta total ou ingredientes separados e o processamento da palma não alteraram a produção de leite nem a eficiência de síntese de proteína microbiana, com valores médios de 98,9 g/kg de nutrientes digestíveis totais (NDT) para síntese microbiana, 21,3 mg/dL para nitrogênio ureico plasmático (NUP) e 18,2 mg/dL para nitrogênio ureico no leite (NUL). No entanto, os autores destacam que o processamento da palma melhora o consumo de matéria seca e que o fornecimento na forma de mistura completa reduz a seletividade, favorecendo maior uniformidade na ingestão da dieta.

No que se refere à fração lipídica, os efeitos da palma forrageira estão diretamente associados à interação com outros componentes da dieta, especialmente fontes de lipídios. Paula (2019) demonstrou que a inclusão de palma em dietas suplementadas com óleo de soja promove aumento expressivo de ácidos graxos com potencial funcional, como os isômeros do ácido linoleico conjugado (CLA cis-9, trans-11) e o ácido vaccênico (C18:1 trans-11), evidenciando que a presença de fontes lipídicas insaturadas é determinante para a modulação positiva do perfil de ácidos graxos do leite.

Resultados semelhantes foram observados por Corrêa et al. (2025), que verificaram aumento dos teores de trans-11 C18:1 e CLA em cabras Saanen alimentadas com cladódios de *Opuntia stricta* associados ao gérmen de milho integral. Esse efeito pode ser explicado pelo aumento da disponibilidade de ácidos graxos insaturados na dieta, provenientes do gérmen de milho, os quais sofrem biohidrogenação no rúmen, gerando intermediários como o ácido vaccênico (trans-11 C18:1). Esse composto, por sua vez, pode ser convertido em CLA (cis-9, trans-11) na glândula mamária pela ação da enzima esteroil-CoA dessaturase. Além disso, a presença da palma pode modificar o ambiente ruminal, favorecendo rotas de biohidrogenação que aumentam a produção desses intermediários lipídicos. De forma complementar, Silva et al. (2023) relataram que dietas contendo palma forrageira combinada com subprodutos agroindustriais promoveram redução dos ácidos graxos saturados e aumento dos monos e poli-insaturados, incluindo compostos de interesse funcional.

Dessa maneira, Araujo et al. (2020) demonstraram que a substituição parcial da silagem de sorgo por cladódios de *Opuntia stricta*, em dietas suplementadas com óleo de soja, promoveu alterações positivas no perfil de ácidos graxos do leite de vacas Holandesas, com aumento das proporções de trans-11 C18:1, cis-9, trans-11 CLA e 18:2 n-6. Esses resultados evidenciam que a presença de lipídios insaturados na dieta é determinante para a formação de compostos de interesse funcional na gordura do leite.

Entretanto, os efeitos da palma forrageira sobre o ambiente ruminal devem ser considerados, uma vez que seu uso isolado pode comprometer a estabilidade da fermentação. De acordo com Soares (2017), o elevado teor de carboidratos não fibrosos e a baixa fibra fisicamente efetiva da palma favorecem a produção excessiva de ácidos graxos voláteis (AGV), reduzindo o pH ruminal e alterando a população microbiana. Essa condição

pode resultar em menor tempo de ruminação, redução da secreção de saliva, importante agente tamponante, e predisposição à acidose subclínica, além de possíveis distúrbios metabólicos, como diarreia e perda de peso. Adicionalmente, a alteração na relação acetato:propionato pode comprometer a síntese de gordura no leite, impactando negativamente sua composição.

Por outro lado, quando a palma forrageira é utilizada de forma equilibrada, associada a fontes adequadas de fibra e concentrado, esses efeitos adversos podem ser mitigados. Estudos indicam que dietas balanceadas contendo palma não comprometem o consumo de matéria seca nem promovem acidose subclínica, mesmo em condições de elevado teor de carboidratos não fibrosos (dos Santos et al., 2022).

Dessa forma, os impactos da palma forrageira sobre a qualidade do leite, especialmente no perfil de ácidos graxos, estão diretamente relacionados ao balanceamento da dieta e ao manejo alimentar. Enquanto a associação com fontes lipídicas pode potencializar a produção de compostos funcionais, o fornecimento inadequado, sem ajuste da fibra efetiva, pode comprometer o ambiente ruminal e a qualidade da gordura do leite.

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Albuquerque-Sobral, A. J. S. et al. Forage cactus combined with different silages as diets for lactating Red Sindhi cows. *Revista Caatinga*, Mossoró, v. 35, n. 4, p. 945–955, out.–dez. 2022.

Almeida, G.A.P. Fontes alternativas de alimentos para vacas em lactação. Tese (Doutorado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil, 2018.

Araujo, D. M. et al. Partially replacing sorghum silage with cactus (*Opuntia stricta*) cladodes in a soybean oil-supplemented diet markedly increases trans-11 C18:1, cis-9, trans-11 CLA and 18:2 n-6 contents in cow milk. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 2020.

Almeida, G. A. P. Palma (*Opuntia ficus-indica* Mill) cv. Gigante em suplementos para fêmeas leiteiras em crescimento a pasto. 2014. 59 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Garanhuns, 2014.

Araújo, P. R. B. et al. Substituição do milho por palma forrageira em dietas completas para vacas em lactação. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, MG, v. 33, supl. 1, p. 1850–1857, 2004.

Ben Salem, H.; Nefzaoui, A.; Ben Salem, L. Supplementing spineless cactus (*Opuntia ficus-indica* f. *inermis*) based diets with urea-treated straw or oldman saltbush (*Atriplex nummularia*): effects on intake, digestion and sheep growth. *Journal of Agricultural Science*, Cambridge, v. 138, p. 85–92, 2002.

Cavalcanti, C. V. A. et al. Palma forrageira enriquecida com uréia em substituição ao feno de capim-tifton 85 em rações para vacas da raça Holandesa em lactação. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, MG, v. 37, n. 4, p. 689–693, 2008.

Cordeiro, M. W. S. Silagens com palma forrageira para novilhas mestiças leiteiras em região semiárida. 2021. 64 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba, 2021.

Corrêa, A. M. N. et al. Feeding Cactus (*Opuntia stricta* [Haw.] Haw.) Cladodes as a Partial Substitute for Elephant Grass (*Pennisetum purpureum*) Induces Beneficial Changes in Milk Fatty Acid Composition of Dairy Goats Fed Full-Fat Corn Germ. *Dairy*, v. 6, n. 3, art. 23, 2025.

De Oliveira Moraes, F. et al. Feeding cactus (*Opuntia* spp.) to dairy cows in semi-arid regions: effects on rumen microbial protein synthesis and milk production. *Livestock Science*, v. 228, p. 103–110, 2019.

Dos Santos, D. A. et al. Is the total mixed ration the best option for feeding crossbred dairy cows using diets based on cactus cladodes on family farms? *Tropical Grasslands – Forrajes Tropicales*, v. 10, n. 2, p. 124–133, 2022.

Dutra, I. C. et al. Forage cactus (*Opuntia ficus-indica* (L.) Miller) f. Cactaceae as an alternative for ruminant feeding. *Brazilian Journal of Science*, v. 3, n. 9, p. 33–41, 2024.

Embrapa. Palma forrageira na alimentação de bovinos leiteiros: cartilhas elaboradas conforme a metodologia e-Rural / Tadeu Vinhas Voltolini [et al.]. Brasília, DF: Embrapa, 2016. 24 p.

Embrapa. Sorgo biomassa BRS 716: produtividade e qualidade para múltiplos usos. Prosa Rural, Brasília, DF: Embrapa / Embrapa Milho e Sorgo, 2021. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/113033>. Acesso em: 13 fev. 2026.

FERREIRA, M. A. et al. Síntese de proteína microbiana e concentrações de uréia em vacas alimentadas com dietas à base de palma forrageira e diferentes volumosos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, MG, v. 38, n. 1, p. 159–165, 2009.

Guimarães, V. P. et al. Substituição do feno de capim-tifton por palma forrageira em dietas para vacas leiteiras: efeitos sobre parâmetros sanguíneos, urina e leite. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v. 75, p. 109–118, 2023.

Inácio, J. G. et al. Effect of different concentrate levels in *Opuntia stricta*-based diets on performance of Girolando cows. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, v. 33, n. 1, p. 35–43, 2020.

Jorge, R. F. et al. Adapting to climate change with *Opuntia*. *Plants*, v. 12, n. 16, art. 2907, 2023.

Junior, D. A. G.; Lima, G. A. R.; Chirinda, A. T.; et al. Inclusion of *Gliricidia* Hay in Total Mixed Rations Silage Made from Giant Cactus Forage. *Agriculture*, v. 15, n. 8, p. 813, 2025.

Mahmoud, R. et al. Progress and trends in forage cactus silage research: a bibliometric analysis. *Fermentation*, v. 10, p. 531, 2023.

Marte-Pereira, D.; Oliveira, J. S.; Sousa-Santos, F. N.; Silva-Macêdo, A. J.; Batista-Gomes, P. G.; Pereira-Santana, L.; Silva, E. S.; Lima-Cruz, G. F.; Fernandes-Perazzo, A.; Mauro-Santos, E. *Forage cactus as a modulator of forage sorghum silage fermentation: An alternative for animal feed in drylands*. *Chilean Journal of Agricultural Research*, v. 85, n. 1, 2025. DOI: 10.4067/S0718-58392025000100047.

Medeiros, I. P. S. et al. Cactus cladodes and sugarcane bagasse can partially replace earless corn silage in diets of lactating dairy cows. *Dairy*, v. 5, n. 1, p. 33–43, 2024.

Monção, F. P. et al. Impact of mixed forage silage with BRS Capiçu grass, ground corn, and varying forage palm levels on aerobic stability, losses, and nutritional value. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 51, 2022.

Nefzaoui, A.; Louhaichi, M.; Ben Salem, H. Cactus as a tool to mitigate drought and to combat desertification. *Journal of Arid Land Studies*, v. 24, p. 121–124, 2014.

Nobre, I. M. P. et al. Forage cactus silage for mitigating water restriction effects on lambs. *Biology, Basel*, v. 3, n. 2, p. 191–207, 2023.

OLIVEIRA, P. V. C. De et al. Mixed sorghum and forage cactus silage: composition, digestibility, fermentation, and losses. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 44, n. 2, p. 929–936, 2023.

Paes, F. et al. Progress and trends in forage cactus silage research: a bibliometric analysis. *Fermentation*, v. 10, n. 10, p. 531, 2024.

Pastorelli, R. et al. *Opuntia* spp. as renewable fodder for sustainable livestock production in arid regions: nutritional, environmental and economic perspectives. *Journal of Arid Environments*, v. 200, p. 104–113, 2022. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2022.104813>.

Paula, T. A. De. Palma forrageira para vacas em lactação. 2019. 68 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Programa de Doutorado Integrado em Zootecnia, Universidade Federal Rural de Pernambuco; Universidade Federal do Ceará; Universidade Federal da Paraíba, Recife, 2019.

Pessoa, R.A.S.F. et al. Desempenho de vacas leiteiras submetidas a diferentes estratégias alimentares. *Revista Archivos de Zootecnia*, v. 53, n. 203, p. 309–320, 2004.

Queiroz, F. E. De et al. Effect of row spacing and maturity at harvest on the fermentative profile, aerobic stability, and nutritional characteristics of biomass sorghum (BRS 716) silage in the semiarid region of Brazil. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 50, e20200254, 2021.

Rehagro. Palma forrageira na alimentação de vacas leiteiras: como utilizar? Blog Rehagro, 2018. Disponível em: <https://rehagro.com.br/blog/palma-forrageira-na-alimentacao-de-vacas-leiteiras/>. Acesso em: 18 maio 2025.

Rodrigues, A. L. et al. Morphological and nutritional characterization of the cladodes of forage cactus species in the Brazilian semi-arid. *Journal of Arid Environments*, v. 205, p. 104–112, 2024.

Sá, M. K. N. De et al. Fermentation characteristics, chemical composition and microbial populations of cactus pear-based silages. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, v. 43, e52171, 2021.

Santos, S. A. et al. Progress and Trends in Forage Cactus Silage Research: A Bibliometric Perspective. *Fermentation*, v. 10, p. 1–21, 2024.

Santos Sá, W. C. C. dos. Silagem de palma forrageira: uma alternativa para o semiárido. 2018. Dissertação (Doutorado em Zootecnia) – Programa de Doutorado Integrado em Zootecnia, Universidade Federal da Paraíba/University of Delaware (PDIZ-UFPB), 10 ago. 2018.

Silva Brito, A. F. et al. Nutritional, fermentative and microbiological dynamics of cactus pear silage with *Gliricidia*. *Scientific Reports*, v. 10, 6762, 2020.

Silva, G. L. Avaliação do valor nutricional de genótipos de palma forrageira para ruminantes no semiárido brasileiro. 2018. 96 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Campina Grande, Patos, PB, 2018.

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, p. 56–64, 2017.

Soares, M. S. Palma forrageira: aspectos do cultivo e desempenho animal. *Nutritime Revista Eletrônica*, Viçosa, v. 14, n. 4, p. 6041–6055, jul./ago. 2017.

Sobral, A. J. Da S. et al. Forage cactus combined with different silages as diets for dairy cows in the semiarid region. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, v. 25, e004582, 2022.

Vilela, M. Da S. et al. Evaluation of feeding supply and forage cactus processing for lactation cows. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, MG, v. 39, n. 12, p. 2744–2752, 2010.

1 **4. COMPOSIÇÃO QUÍMICA, PERFIL DE ÁCIDOS GRAXOS E ÍNDICES NUTRICIONAIS DO**
2 **LEITE DE VACA ALIMENTADAS COM NÍVEIS CRESCENTES DE PALMA FORRAGEIRA**
3 **ENSILADA**

4 Henrique de Souza Nogueira

5

6

7

8

9

10 *Corresponding Author: Vicente Ribeiro Rocha Júnior

11 Tel.: 55-38-98825-7218, Fax 55-38-3821-2756, E-mail: vicente.rocha@unimontes.br

12

13

14

15

16

17

18

19 Departamento de Ciências Agrárias, Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba,

20 Minas Gerais, 39.448-524, Brasil.

21

22

23

24

25

26

27

28

29

30 ORCID

31 Vicente Ribeiro Rocha Júnior

32 <https://orcid.org/000-0002-0721-1981>

33

RESUMO

34

35 O objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos da inclusão de níveis crescentes de palma
36 forrageira ensilada com sorgo biomassa BRS 716 sobre a composição química, perfil de
37 ácidos graxos, índices nutricionais e parâmetros microbiológicos do leite de vacas $\frac{3}{4}$
38 Holandês × Zebu. O experimento foi conduzido com dez vacas distribuídas em dois
39 quadrados latinos 5×5 simultâneos, utilizando cinco dietas contendo 0%, 15%, 30%, 45% e
40 60% de palma forrageira na silagem. A produção de leite corrigida para 3,5% de gordura
41 não foi influenciada ($P>0,05$) pela inclusão de palma forrageira, apresentando média de
42 13,57 kg/dia, assim como os constituintes do leite, com teores médios de 3,57% de
43 gordura, 2,76% de proteína, 4,55% de lactose, 11,90% de sólidos totais e 2,20% de
44 caseína. As características físico-químicas e microbiológicas também permaneceram
45 inalteradas, com valores médios de 6,72 para pH, 15,50 °D para acidez, $10,04 \times 10^3$ CS/mL
46 para contagem de células somáticas e $3,06 \times 10^3$ UFC/mL para contagem padrão em
47 placas, indicando a viabilidade produtiva da silagem mista com palma forrageira.
48 Observou-se efeito linear decrescente ($P<0,05$) para o nitrogênio ureico do leite, descrito
49 pela equação $\hat{y} = 17,37 - 0,044x$ ($R^2 = 0,48$), sugerindo maior eficiência de utilização do
50 nitrogênio dietético com o aumento da inclusão de palma. Entretanto, níveis crescentes
51 de palma alteraram significativamente o perfil de ácidos graxos da gordura do leite, com
52 aumento do ácido palmítico (C16:0) e redução das frações de ácidos graxos
53 monoinsaturados, poli-insaturados, de cadeia ímpar, ramificados e ômega 3.
54 Consequentemente, os índices nutricionais indicaram redução da qualidade funcional da
55 gordura do leite, sendo acompanhada por diminuição linear da atividade estimada da
56 enzima esteroil-CoA dessaturase 1 (SCD18). Conclui-se que a inclusão de níveis
57 crescentes de palma forrageira ensilada associada ao sorgo biomassa BRS 716 na dieta de
58 vacas leiteiras $\frac{3}{4}$ Holandês × Zebu constitui uma estratégia viável para sistemas de
59 produção no semiárido, uma vez que níveis de até 60% na silagem não comprometem o
60 desempenho produtivo nem os principais parâmetros físico-químicos e microbiológicos
61 do leite. Entretanto, sob o ponto de vista da qualidade nutricional da gordura do leite,
62 níveis superiores a 45% de inclusão de palma forrageira na silagem promovem alterações

63 desfavoráveis no perfil de ácidos graxos, refletindo negativamente nos índices
64 nutricionais. Dessa forma, recomenda-se a utilização de até 45% de palma forrageira na
65 silagem com sorgo biomassa como nível mais adequado para conciliar desempenho
66 produtivo e qualidade nutricional do leite.

67

68 Palavras-chave: silagem mista; nutrição de ruminantes; composição lipídica; bovinos
69 leiteiros; sistemas produtivos.

70

71

ABSTRACT

72

73 The objective of this study was to evaluate the effects of increasing levels of forage cactus
74 ensiled with BRS 716 biomass sorghum on the chemical composition, fatty acid profile,
75 nutritional indices, and microbiological parameters of milk from $\frac{3}{4}$ Holstein \times Zebu cows.
76 The experiment was conducted with ten cows distributed in two simultaneous 5 \times 5 Latin
77 squares, using five diets containing 0%, 15%, 30%, 45%, and 60% forage cactus in the
78 silage. Milk yield corrected to 3.5% fat was not affected ($P>0.05$) by the inclusion of
79 forage cactus, presenting an average of 13.57 kg/day, as well as milk constituents, with
80 mean values of 3.57% fat, 2.76% protein, 4.55% lactose, 11.90% total solids, and 2.20%
81 casein. Physicochemical and microbiological characteristics also remained unchanged,
82 with mean values of 6.72 for pH, 15.50 °D for acidity, 10.04×10^3 cells/mL for somatic cell
83 count, and 3.06×10^3 CFU/mL for standard plate count, indicating the productive viability
84 of mixed silage with forage cactus. A decreasing linear effect ($P<0.05$) was observed for
85 milk urea nitrogen, described by the equation $\hat{y} = 17.37 - 0.044x$ ($R^2 = 0.48$), suggesting
86 greater efficiency in dietary nitrogen utilization with increasing cactus inclusion. However,
87 increasing levels of forage cactus significantly altered the fatty acid profile of milk fat,
88 with an increase in palmitic acid (C16:0) and a reduction in monounsaturated,
89 polyunsaturated, odd-chain, branched-chain, and omega-3 fatty acids. Consequently,
90 nutritional indices indicated a reduction in the functional quality of milk fat, accompanied
91 by a linear decrease in the estimated activity of the stearoyl-CoA desaturase enzyme
92 (SCD18). It is concluded that the inclusion of increasing levels of forage cactus ensiled
93 with BRS 716 biomass sorghum in the diet of $\frac{3}{4}$ Holstein \times Zebu dairy cows is a viable

94 strategy for production systems in semiarid regions, since levels up to 60% in the silage do
95 not compromise productive performance or the main physicochemical and
96 microbiological parameters of milk. However, from the perspective of milk fat nutritional
97 quality, inclusion levels above 45% of forage cactus promote unfavorable changes in the
98 fatty acid profile, negatively affecting nutritional indices. Therefore, the use of up to 45%
99 forage cactus in silage with biomass sorghum is recommended as the most appropriate
100 level to balance productive performance and milk nutritional quality.

101

102 Keywords: mixed silage; ruminant nutrition; lipid composition; dairy cattle; production
103 systems.

104

105 **4.1 INTRODUÇÃO**

106

107 A produção de forragem em regiões semiáridas têm sido um dos principais fatores
108 limitantes dos sistemas de produção pecuária nestas regiões. Nesse contexto, a palma
109 forrageira destaca-se como alternativa estratégica, em razão de sua elevada eficiência no
110 uso da água e de sua capacidade de produção de biomassa mesmo sob condições de
111 *déficit* hídrico (Nefzaoui et al., 2014; Dutra et al., 2024). Do ponto de vista nutricional, a
112 palma forrageira apresenta elevado teor de carboidratos não fibrosos e alta umidade,
113 com baixos teores de fibra, características que afetam a fermentação ruminal, podendo
114 influenciar o desempenho e a saúde animal, além da qualidade do leite, especialmente,
115 quando o equilíbrio nutricional da dieta não é atendido (De Oliveira Moraes et al., 2019;
116 Gama et al, 2021).

117 Sobral et al. (2022) demonstraram que a inclusão de palma forrageira em dietas
118 para vacas leiteiras, associada a diferentes volumosos e concentrados, não compromete a
119 produção nem os principais constituintes do leite, como gordura e sólidos totais. De
120 forma semelhante, Medeiros et al. (2024) observaram que a substituição parcial de
121 volumosos por palma, combinada a bagaço de cana-de-açúcar, promoveu aumento na
122 produção de leite corrigida para gordura e elevação dos teores de proteína, lactose e
123 sólidos totais, evidenciando o potencial dessa forrageira na manutenção e até melhoria
124 do desempenho produtivo. Além disso, a palma forrageira pode influenciar o perfil de

125 ácidos graxos do leite, especialmente quando associada a fontes lipídicas específicas. Silva
126 et al. (2020) relataram que dietas contendo palma combinada a ingredientes ricos em
127 ácidos graxos insaturados promoveram aumento de compostos de interesse funcional,
128 como os ácidos graxos poli-insaturados e isômeros do ácido linoleico conjugado (CLA),
129 contribuindo para a melhoria da qualidade nutricional da gordura do leite.

130 Apesar desses benefícios, o uso da palma forrageira *in natura* apresenta limitações
131 operacionais importantes, sobretudo pela necessidade de corte, transporte e
132 fornecimento frequentes, o que eleva a demanda por mão de obra e dificulta a
133 padronização do manejo alimentar. Nesse contexto, a ensilagem da palma forrageira
134 surge como alternativa tecnológica capaz de reduzir custos operacionais, permitir o
135 armazenamento do volumoso por períodos prolongados e melhorar a logística dos
136 sistemas produtivos no semiárido.

137 Entretanto, a ensilagem da palma apresenta particularidades que exigem atenção
138 técnica. A elevada umidade e o baixo teor de fibra estrutural podem comprometer o
139 processo fermentativo quando a palma é ensilada isoladamente, resultando em
140 fermentação menos eficiente, maiores perdas e menor estabilidade aeróbia. Desta forma,
141 a associação da palma com outros volumosos ou ingredientes mais secos favorece a
142 compactação, melhora o perfil fermentativo e reduz perdas durante o armazenamento,
143 destacando-se a utilização de silagens mistas como estratégia mais eficiente (Brito et al.,
144 2020).

145 Dentre os volumosos com potencial para associação à palma forrageira, destaca-
146 se o sorgo biomassa BRS 716, desenvolvido pela Empresa Brasileira de Pesquisa
147 Agropecuária (EMBRAPA), com elevado potencial produtivo e importância crescente na
148 produção de biomassa para variados usos, incluindo silagem em sistemas pecuários. O
149 BRS 716 apresenta boa adaptação produtiva ao semiárido, porte alto e alta produção de
150 matéria fresca e seca, em média três vezes mais que cultivares comuns para produção de
151 forragem, o que favorece a geração de volumoso em quantidade, contribuindo com a
152 estrutura física da massa ensilada e com o equilíbrio de umidade quando associado à
153 palma forrageira (Queiroz et al., 2021).

154 O processo de ensilagem promove alterações químicas e microbiológicas no
155 alimento, caracterizadas pela fermentação dos carboidratos solúveis e pela produção de

156 ácidos orgânicos, principalmente ácido lático, que reduzem o pH e garantem a
157 preservação do material ensilado. No caso da palma forrageira, a inclusão em silagens
158 mistas pode alterar significativamente o processo fermentativo, a composição química e a
159 estabilidade aeróbia do volumoso final, com respostas dependentes do nível de inclusão e
160 do material associado (De Souza-Melo et al., 2022).

161 A utilização de níveis crescentes de inclusão da palma forrageira em silagens
162 mistas permite avaliar de forma sistemática os efeitos da substituição progressiva do
163 volumoso convencional, possibilitando a identificação de respostas lineares ou não
164 lineares, na qualidade da silagem, no desempenho animal e na qualidade do leite. A
165 adoção de níveis escalonados é amplamente empregada em estudos com silagens de
166 palma, justamente para definir faixas seguras de inclusão que conciliem qualidade
167 fermentativa, valor nutricional e viabilidade prática dos sistemas produtivos (Brito et al.,
168 2020; De Souza-Melo et al., 2022; Oliveira et al., 2023).

169 Além dos efeitos produtivos, alterações no tipo de volumoso e no método de
170 conservação deste, a ensilagem, podem influenciar o metabolismo ruminal e a síntese dos
171 componentes do leite, especialmente em relação à fração lipídica. A composição e o perfil
172 de ácidos graxos do leite são diretamente influenciados pela dieta e pelo padrão de
173 fermentação ruminal, sendo parâmetros relevantes tanto do ponto de vista nutricional
174 quanto funcional. Nesse contexto, a inclusão de palma forrageira, devido ao seu elevado
175 teor de carboidratos não fibrosos e baixo conteúdo de fibra fisicamente efetiva, promove
176 alterações no ambiente ruminal, favorecendo a produção de propionato em detrimento
177 do acetato. Como o acetato é o principal precursor da síntese de ácidos graxos de novo
178 na glândula mamária, sua redução pode limitar a síntese de ácidos graxos de cadeia curta
179 e média, além de modificar o fluxo de intermediários lipídicos oriundos da
180 biohidrogenação ruminal. Adicionalmente, mudanças na microbiota ruminal podem
181 alterar as rotas de biohidrogenação dos ácidos graxos insaturados, influenciando a
182 formação de compostos como o ácido vaccênico (trans-11 C18:1) e o ácido linoleico
183 conjugado (CLA). Dessa forma, a palma forrageira pode modular o perfil de ácidos graxos
184 do leite tanto por efeitos indiretos sobre a fermentação ruminal quanto pela interação
185 com o metabolismo lipídico microbiano e mamário.

186 Diante do exposto, objetivou-se avaliar os efeitos da inclusão de níveis crescentes

187 de palma forrageira ensilada com o sorgo biomassa BRS 716 na alimentação de vacas
188 leiteiras sobre a qualidade, o perfil de ácidos graxos e os índices nutricionais do leite.
189 Hipotetiza-se que a inclusão de palma forrageira ensilada não compromete a produção
190 nem os parâmetros físico-químicos do leite, porém pode promover alterações no perfil de
191 ácidos graxos da gordura do leite, influenciando as características funcionais do produto.

192

193 **4.2 MATERIAL E MÉTODOS**

194

195 **4.2.1 Aprovação do comitê de ética**

196

197 As atividades realizadas com animais foram autorizadas pelo Comitê de Ética no
198 Uso de Animais da Universidade Estadual de Montes Claros, sob o protocolo nº 007/2022
199 CEUA/Unimontes.

200

201 **4.2.2 Local do estudo e condições climáticas**

202

203 A pesquisa foi conduzida no Campus Janaúba da Universidade Estadual de Montes
204 Claros (UNIMONTES). O município de Janaúba, no Norte de Minas Gerais – Brasil, situa-se
205 a 15° 48' 32" de latitude e 43° 19' 3" de longitude, a 533 m de altitude. A região
206 apresenta regime pluviométrico típico de verão, com prolongados períodos secos de
207 aproximadamente 10 meses ao ano, média anual inferior a 800 mm de precipitação e
208 temperatura média de 27°C. O clima é classificado como tropical mesotérmico, tendendo
209 ao megatérmico em razão da altitude, caracterizado como subúmido a semiárido, com
210 chuvas irregulares e longas fases de estiagem (Álvarez et al., 2014; Köppen, 1948).

211

212 **4.2.3 Dietas experimentais (Tratamentos) e delineamento estatístico:**

213

214 O delineamento empregado foi composto por dois quadrados latinos 5×5
215 simultâneos, cada um contendo cinco animais, cinco tratamentos e cinco períodos. Este
216 arranjo experimental permitiu, ao longo do experimento, a coleta e avaliação de 50
217 amostras de leite. Foram utilizadas 10 vacas ¾ Holandês × Zebu, com 80 ± 10 dias de

218 lactação. As cinco dietas avaliadas consistiram em: Tratamento 1 - Silagem de sorgo
219 biomassa BRS 716 com 0% de palma forrageira; Tratamento 2 – Silagem composta por
220 85% de sorgo biomassa BRS 716 e 15% de palma forrageira; Tratamento 3 – Silagem
221 composta por 70% de sorgo biomassa BRS 716 e 30% de palma forrageira; Tratamento 4 –
222 Silagem composta por 55% de sorgo biomassa BRS 716 e 45% Palma Forrageira;
223 Tratamento 5 - Silagem composta por 40% de sorgo biomassa BRS 716 e 60% Palma
224 Forrageira. As proporções entre a gramínea (sorgo biomassa BRS 716) e a palma
225 (variedade IPA-Sertânea - *Nopalea cochenillifera* L.) foram ajustadas com base na matéria
226 natural. O sorgo biomassa BRS 716 foi colhido aos 160 dias de idade e então triturado em
227 ensiladeira JF-90, regulada para obter partículas de 2 cm. A palma forrageira foi colhida 2
228 anos após o último corte, preservando o “cladódio mãe” e processada em fatiadora
229 MC1N (Laboremus), resultando em pedaços de 2 a 5 cm, evitando-se a maceração.
230 Durante a ensilagem dos tratamentos com palma, todo o material era pesado em balança
231 mecânica para assegurar as proporções corretas de cada tratamento.

232 As formulações foram balanceadas para serem isoproteicas, atendendo às
233 exigências nutricionais de vacas mestiças com 500 kg de peso corporal e produção média
234 de 15 kg de leite/dia, corrigida para 3,5% de gordura (NASEM, 2021). Ureia foi incluída
235 para ajustar o teor de proteína bruta (PB), e um mesmo concentrado foi empregado em
236 todas as dietas. A relação volumoso:concentrado foi de aproximadamente 75:25 na
237 matéria seca.

238 A oferta alimentar ocorria duas vezes ao dia (08:00 h e 14:00 h), na forma de dieta
239 total. Os ingredientes foram previamente pesados e misturados manualmente em
240 cochos, garantindo homogeneização adequada da dieta antes do fornecimento aos
241 animais. Os alimentos eram pesados individualmente, e a quantidade fornecida era
242 ajustada para permitir aproximadamente 5% de sobras em relação à matéria seca
243 ofertada. As sobras eram quantificadas diariamente. As ordenhas foram realizadas às 7:00
244 h e 15:00 h, em sistema de ordenha mecânica do tipo balde ao pé, utilizando a presença
245 do bezerro para estimular a ejeção do leite.

246 As vacas foram alojadas individualmente em baias com dimensões de 1,60 x 3,10
247 metros. Cada baia foi equipada com um comedouro de concreto individual e um
248 bebedouro automático. As baias estavam dispostas em um galpão coberto com telhas de

249 barro do tipo colonial, com pé-direito de três metros.

250 A composição químico-bromatológica das dietas e da palma forrageira foi
251 determinada conforme as recomendações descritas em Detmann et al. (2021). A
252 proporção dos ingredientes e a composição química das dietas experimentais e da palma
253 forrageira encontram-se apresentadas na Tabela 1.

254

255 Tabela 1. Proporção dos ingredientes e composição química das dietas experimentais.

Item	Inclusão palma forrageira					Palma Forrageira(g.kg de MS ⁻¹)
	0%	15%	30%	45%	60%	
	Proporção dos ingredientes (g.kg MS ⁻¹)					
Sorgo BRS 716	741,85	696,94	641,73	571,6	480,12	
Palma Forrageira	0	44,26	98,97	168,3	259,18	
Milho moído	105,6	105,6	105,6	105,6	105,6	
Farelo de soja	134,4	134,4	134,4	134,4	134,4	
Ureia:sulfato de amônio (9:1)	8,15	8,8	9,3	10,1	10,7	
Mistura mineral	10	10	10	10	10	
	Composição química da dieta (g/kg de MS ⁻¹)					
MS	459,2	451,44	441,64	429,34	412,89	104,43
MM	76,15	80,5	85,9	92,72	101,7	164,24
PB	134,34	135,73	136,62	138,2	139,03	41,55
EE	29,62	28,94	28,11	27,05	25,68	8,84
CNF	336,69	348,88	364,05	383,22	408,48	599,88
FDNcp	437,97	421,89	402,18	377,11	344,5	185,49

256 A = Matéria seca; B = Mistura mineral; C = Proteína bruta; D = Extrato etéreo; E = Carboidratos não
257 fibrosos (CNF); F = Fibra em detergente neutro corrigida para cinzas e proteína (FDNcp). Mistura mineral
258 (conteúdo por kg do produto): cálcio (128 g mínimo), fósforo (100 g mínimo), sódio (120 g mínimo),
259 magnésio (15 g), enxofre (33 g), cobalto (135 mg), ferro (938 mg), iodo (160 mg), manganês (1800 mg),
260 selênio (34 mg), zinco (5760 mg) e flúor (1000 mg).
261

262 4.2.4 Coleta de dados, amostras e análises do leite

263

264 O experimento teve duração total de 90 dias, divididos em cinco períodos de 18
265 dias, sendo 14 dias destinados à adaptação e 4 dias à coleta de dados e amostras. Nos
266 quatro últimos dias de cada período, registrou-se a produção individual de leite e
267 calculou-se o leite corrigido para 3,5% de gordura (Sklan et al., 1992).

268 Nesses mesmos dias, amostras de leite foram coletadas de cada vaca, formando-
269 se um *pool* entre as ordenhas da manhã e da tarde, proporcional à produção. Para a
270 contagem padrão em placas (CPP), foram acondicionados 50 mL de leite em frascos

271 contendo azidiol. Para análises de contagem de células somáticas (CCS) e de composição
272 química (gordura, proteína, lactose, sólidos totais e nitrogênio ureico), utilizaram-se
273 frascos de 50 mL com bronopol. A CCS e CPP foram determinadas pela técnica de
274 citometria de fluxo, enquanto composição química do leite foi determinada pelo método
275 infravermelho (Clínica da Leite: ESALQ-Piracicaba/SP).

276 As amostras de leite também foram avaliadas para: acidez titulável (expressa em
277 Graus Dornic) utilizando fenolftaleína a 1% como indicador; e pH, mensurado em
278 potenciômetro digital Phox p1000, estas análises foram realizadas no Laboratório de
279 Tecnologia de Produtos de Origem Animal da Unimontes.

280

281 **4.2.5 Avaliação do perfil de ácidos graxos do leite**

282

283 As amostras, após transmetilação, foram analisadas em cromatógrafo gasoso
284 Focus CG-Finnigan, equipado com detector de ionização de chama e coluna capilar CP-Sil
285 88 (Varian), com 100 µm de comprimento, 0,25 µm de diâmetro interno e 0,20 µm de
286 espessura de filme. Utilizou-se hidrogênio como gás de arraste, com fluxo de 1,8 mL/min.

287 O programa de aquecimento foi estruturado da seguinte forma: temperatura
288 inicial de 70°C, com espera de 4 min; incremento até 175°C a 13°C/min, mantendo-se por
289 27 min; elevação até 215°C a 4°C/min, com espera de 9 min; e aumento final a 230°C a
290 7°C/min, permanecendo por 5 min, totalizando 65 min de corrida. O vaporizador foi
291 mantido a 250°C e o detector a 300°C. Uma alíquota de 1 µL do extrato esterificado foi
292 injetada.

293 A identificação dos ácidos graxos foi realizada comparando-se os tempos de
294 retenção com padrões comerciais, e sua quantificação ocorreu por normalização das
295 áreas dos ésteres metílicos, expressando os resultados em g/100 g de gordura. O perfil
296 nutricional da fração lipídica foi avaliado à partir dos seguintes índices: Índice de
297 Aterogenicidade (IA) = $\{(C12:0 + 4 \times C14:0 + C16:0) / (\sum \text{monoinsaturados} + \sum \omega6 + \sum \omega3)\}$;
298 Índice de Trombogenicidade (IT) = $(C14:0 + C16:0 + C18:0) / \{(0,5 \times \sum \text{monoinsaturados}) +$
299 $(0,5 \times \sum \omega6 + (3 \times \sum \omega3) + (\sum \omega3 / \sum \omega6))\}$ (Ulbricht & Southgate, 1991); Razão HH =
300 $(\text{monoinsaturados} + \text{polinsaturados}) / (C14:0 + C16:0)$; Ácidos Graxos Desejáveis (AGD) =
301 $(\text{insaturados} + C18:0)$, conforme Costa et al. (2008). Também foram determinadas as

302 razões poli-insaturados:saturados e $\omega 6:\omega 3$.

303

304 **4.2.6 Índices de atividades das enzimas**

305

306 Os índices de atividade da enzima estearoil-CoA-1 (SCD) foram calculados para
307 cinco pares de AG, expressando cada produto como a proporção do precursor mais
308 produto: (SCD12 = C12:1 cis-9/12:0 + C12:1 cis-9; SCD14 = C14:1 cis-9/14:0 + C14:1 cis-9;
309 SCD16 = C16:1 cis-9/16:0 + C16:1 cis-9; SCD18 = C18:1 cis-9/18:0 + C18:1 cis-9; e SCDRA=
310 CLA cis-9 trans-11/C18:1 trans-11 + CLA cis-9 trans-11) (Kelsey et al., 2003).

311

312 **4.2.7 Análises estatísticas**

313

314 Todos os dados obtidos ao longo do experimento foram analisados por meio de
315 análise de variância, utilizando-se o software estatístico SISVAR (Ferreira, 2011). Para o
316 processamento das informações, empregou-se o seguinte modelo estatístico: $Y_k(ij) = \mu +$
317 $P_i + Q_i + A_j + T_k(ij) + e_k(ij)$, em que:

318

- 319 • $Y_k(ij)$ representa cada observação referente ao k-ésimo tratamento, dentro do
320 período i e do animal j;
- 321 • μ corresponde à constante geral associada a todas as observações;
- 322 • P_i descreve o efeito do período experimental, para $i = 1, 2, 3, 4$ e 5 ;
- 323 • Q_i : efeito do i-ésimo quadrado;
- 324 • A_j indica o efeito do animal, sendo $j = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9$ e 10 ;
- 325 • $T_k(ij)$ é o efeito do tratamento aplicado, com $k = 1, 2, 3, 4$ e 5 ;
- 326 • $e_k(ij)$ refere-se ao erro experimental relacionado a cada observação, assumido
327 como independente, com distribuição normal, média igual a zero e variância δ^2 .

328

329 No modelo, os tratamentos ($T_k(ij)$) foram considerados efeitos fixos, enquanto os
330 efeitos atribuídos aos animais (A_j), aos períodos experimentais (P_i), ao quadrado latino
331 (Q_i) e ao termo de erro (e_{ijk}) foram tratados como aleatórios. As médias dos tratamentos
332 foram analisadas por regressão, de acordo com os níveis de inclusão de palma nas

333 silagens, adotando-se o nível de significância $\alpha = 0,05$.

334 Além disso, realizou-se uma análise exploratória dos dados por meio da Análise de
335 Componentes Principais (ACP) e *Cluster*, utilizando o software PAST® versão 4.03
336 (Hammer et al., 2001).

337

338 4.3 RESULTADOS

339

340 Os níveis crescentes de palma forrageira não influenciaram ($P>0,05$) a produção e
341 a composição do leite, incluindo produção de leite corrigida para 3,5% de gordura (13,57
342 kg/dia), gordura (3,57%), proteína (2,80%), lactose (4,55%), sólidos totais (11,90%) e
343 caseína (2,20%). Da mesma forma, não houve efeito sobre os parâmetros microbiológicos
344 e físico-químicos, com médias de 10.043 CS/mL para contagem de células somáticas
345 (CCS), 3.066 UFC/mL para contagem padrão em placas (CPP), 15,50 °D para acidez e 6,72
346 para pH. Por outro lado, o nitrogênio ureico do leite (NUL) foi influenciado pelas dietas
347 ($P<0,05$), apresentando comportamento linear decrescente com o aumento dos níveis de
348 palma ensilada.

349

350 Tabela 2. Produção (kg/dia), composição físico-química (%) e microbiológica do leite de vacas alimentadas
351 com dietas contendo níveis crescentes de palma forrageira ensilada associada ao sorgo biomassa BRS 716

Parâmetros	Dietas experimentais					EPM ^{a1}	P-valor ¹		
	0	15	30	45	60		Dieta	Linear	Quad
Produção de leite corrigida 3,5 %G	12,99	14,16	14,30	13,28	13,16	0,45	0,10	0,69	0,02
Proteína (%)	2,68	2,77	2,77	2,76	2,83	0,07	0,71	0,22	0,83
Lactose (%)	4,54	4,58	4,55	4,58	4,48	0,05	0,55	0,36	0,24
Gordura (%)	3,45	3,61	3,55	3,70	3,54	0,17	0,89	0,64	0,52
Sólidos totais (%)	11,72	11,99	11,90	12,05	11,86	0,23	0,87	0,65	0,44
Caseína (%)	2,15	2,22	2,20	2,19	2,23	0,06	0,89	0,54	0,80
NUL ^{c1} (%)	16,83	16,73	16,80	15,98	13,90	0,70	0,02	<0,05	0,75
CPP ^d (X100 UFC/mL)	24,60	18,10	36,10	30,10	44,40	7,94	0,19	0,05	0,56
CCS ^b (X100 CS/mL)	73,63	62,20	170,70	68,00	127,60	43,69	0,34	0,42	0,68
pH	6,78	6,73	6,71	6,67	6,72	0,03	0,21	0,12	0,11
Acidez (°D)	14,22	14,67	16,02	16,29	16,30	9,53	0,41	0,07	0,59

352 ^aerro padrão da média; ^b contagem de células somáticas; ^c nitrogênio ureico do leite; ^d contagem padrão de placas. ¹ $y = 17,37 -$
353 $0,044067x$, $R^2 = 48,33$. ¹ Valores de probabilidade (P) referentes aos efeitos da dieta, regressão linear e quadrática.

354

355

356 Com relação ao perfil de ácidos graxos saturados do leite, verificou-se efeito
357 ($P<0,05$) das dietas apenas sobre o ácido graxo C16:0 (ácido palmítico), com
358 comportamento linear crescente em função do aumento dos níveis de inclusão de

359 palma ensilada na dieta das vacas. Para os demais ácidos graxos saturados, não foram
 360 observadas diferenças significativas ($P>0,05$) entre os níveis de palma nas silagens
 361 (Tabela 3).

362 Tabela 3. Perfil de ácidos graxos saturados do leite (g/100g do total de ácidos graxos) de vacas alimentadas
 363 com dietas contendo níveis crescentes de palma forrageira na silagem

Parâmetros	Dietas experimentais					EPM	P-valor ¹		
	0	15	30	45	60		Dieta	Linear	Quad
C4:0	2,83	2,90	2,93	3,09	3,35	0,14	0,09	0,01	0,33
C6:0	1,70	1,85	1,88	1,97	2,04	0,08	0,06	0,00	0,76
C8:0	1,00	1,12	1,10	1,14	1,17	0,06	0,26	0,05	0,54
C10:0	2,20	2,52	2,44	2,49	2,48	0,14	0,53	0,26	0,33
C11:0	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,00	0,78	0,47	0,64
C12:0	2,64	3,03	2,88	2,96	2,96	0,15	0,42	0,25	0,33
C13:0	0,09	0,10	0,10	0,10	0,09	0,01	0,40	0,76	0,09
C14:0	10,86	12,03	11,65	12,23	11,93	0,39	0,13	0,06	0,18
C15:0	1,14	1,20	1,19	1,21	1,07	0,05	0,22	0,34	0,05
C16:0 ¹	33,45	35,91	36,57	38,96	39,37	0,92	0,00	0,00	0,49
C18:0	9,77	8,73	8,97	8,21	8,31	0,57	0,32	0,06	0,56
C20:0	0,16	0,15	0,15	0,15	0,14	0,01	0,69	0,18	0,94
C21:0	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,00	0,48	0,08	0,57
C22:0	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,31	0,28	0,31
C23:0	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,00	0,44	0,08	0,70
C24:0	0,07	0,06	0,06	0,06	0,05	0,00	0,42	0,09	0,80

364 ¹ $y=33.873060+0.099221x$ ($R^2=0,9506$); ^aerro padrão da média. ¹Valores de probabilidade (P) referentes aos efeitos da dieta, regressão
 365 linear e quadrática.

366
 367
 368 Em relação ao perfil de ácidos graxos octadecanóicos do leite, verificou-se
 369 efeito ($P<0,05$) das dietas sobre os ácidos graxos C18:1 cis-9, C18:1 cis-12, C18:2 cis-9 e
 370 cis-12 e C18:3 n-3, todos apresentando comportamento linear decrescente em função
 371 do aumento dos níveis de palma ensilada na dieta. Para os demais ácidos graxos
 372 octadecanóicos, não foram observadas diferenças significativas ($P>0,05$) entre os níveis
 373 de palma nas silagens (Tabela 4).

374
 375 Tabela 4. Perfil de ácidos graxos octadecanóicos do leite (g/100g do total de ácidos graxos) de vacas
 376 alimentadas com dietas contendo níveis crescentes de palma forrageira na silagem

Parâmetros	Dietas experimentais					EPM ^a	P-valor ¹		
	0	15	30	45	60		Dieta	Linear	Quad
C18:0	9,77	8,73	8,97	8,21	8,31	0,57	0,32	0,06	0,56
C18:1 <i>trans</i> -11	2,00	2,05	1,97	1,98	1,85	0,08	0,47	0,10	0,51
C18:1 <i>cis</i> -9 ¹	21,96	19,27	18,50	16,28	16,30	1,09	0,00	0,00	0,34
C18:1 <i>cis</i> -11	0,66	0,56	0,57	0,47	0,54	0,05	0,12	0,04	0,22
C18:1 <i>cis</i> -12 ²	0,10	0,09	0,08	0,08	0,08	0,00	0,04	0,01	0,06
C18:1 <i>cis</i> -13	0,06	0,04	0,04	0,03	0,05	0,01	0,55	0,46	0,21

C18:1 <i>trans</i> -16	0,10	0,10	0,09	0,09	0,10	0,01	0,98	0,90	0,67
C18:1 <i>cis</i> -15	0,08	0,10	0,08	0,08	0,06	0,01	0,35	0,10	0,31
C18:2 <i>cis</i> -9 e <i>cis</i> -12 ³	1,23	1,18	1,11	0,96	1,02	0,03	0,00	0,00	0,14
C18:2 <i>cis</i> -9 <i>trans</i> -11	0,62	0,63	0,59	0,57	0,51	0,06	0,74	0,20	0,61
C18:3 <i>n</i> -6	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,64	0,44	0,58
C18:3 <i>n</i> -3 ⁴	0,21	0,20	0,18	0,15	0,15	0,01	0,00	0,00	0,70

¹y= 21.3276-0.0955x (R² = 0,9174); ²y=0.095-0.000253x (R²=0,6588); ³y=1.2286-0.00424x (R² = 0,8291); ⁴y=0.207-0.00106x (R²=,8924); ^a erro padrão da média. ¹Valores de probabilidade (P) referentes aos efeitos da dieta, regressão linear e quadrática.

377
378
379
380

381 Quanto aos ácidos graxos monoinsaturados, poli-insaturados e ramificados do
382 leite, verificou-se efeito (P<0,05) dos níveis de palma nas silagens nos ácidos graxos
383 C22:2, C22:6 *n*-3, C15:0 *iso*, C17:0 *iso*, onde somente C17:0 *iso* apresentou
384 comportamento linear decrescente. Os demais ácidos graxos apresentaram
385 comportamento quadrático. Não houve (P>0,05) efeito das dietas para as concentrações
386 dos demais ácidos graxos monoinsaturados, poli-insaturados e ramificados do leite
387 (Tabela 5).

388
389
390

Tabela 5. Perfil de ácidos graxos monoinsaturados, poli-insaturados e ramificados no leite (g/100g de ácidos graxos totais) de vacas alimentadas com dietas contendo níveis crescentes de palma forrageira na silagem

Parâmetros	Dietas experimentais					EPM ^a	P-valor		
	0	15	30	45	60		Dieta	Linear	Quad
C10:1	0,26	0,30	0,29	0,30	0,29	0,02	0,70	0,51	0,36
C12:1 <i>cis</i> -9	0,06	0,07	0,06	0,05	0,06	0,01	0,71	0,61	0,58
C14:1 <i>cis</i> -9	0,99	1,08	1,04	1,03	1,01	0,14	0,99	0,99	0,72
C16:1 <i>cis</i> -9	2,05	1,92	1,93	1,86	1,88	0,12	0,84	0,31	0,65
C17:1	0,32	0,28	0,28	0,27	0,25	0,02	0,20	0,02	0,71
C20:1	0,11	0,11	0,10	0,10	0,08	0,01	0,18	0,02	0,44
C24:1	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,61	0,52	0,78
C20:2	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,00	0,34	0,07	0,55
C20:3 <i>n</i> -6	0,05	0,04	0,04	0,05	0,04	0,01	0,87	0,59	0,51
C20:4 <i>n</i> -6	0,08	0,09	0,08	0,07	0,08	0,00	0,14	0,53	0,71
C20:5 <i>n</i> -3	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	0,28	0,42	0,87
C22:2 ¹	0,01	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
C22:5	0,05	0,05	0,05	0,04	0,05	0,00	0,29	0,53	0,60
C22:6 <i>n</i> -3 ²	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02
C13:0 <i>isso</i>	0,12	0,12	0,11	0,12	0,11	0,01	0,75	0,44	0,83
C13:0 <i>anteiso</i>	0,06	0,07	0,07	0,06	0,06	0,01	0,99	0,89	0,80
C14:0 <i>isso</i>	0,20	0,20	0,20	0,22	0,19	0,01	0,43	0,86	0,36
C15:0 <i>iso</i> ³	0,37	0,37	0,35	0,34	0,27	0,01	0,00	0,00	0,00
C15:0 <i>anteiso</i>	0,63	0,67	0,63	0,62	0,53	0,03	0,05	0,02	0,07
C16:0 <i>isso</i>	0,35	0,34	0,33	0,36	0,32	0,02	0,41	0,47	0,67
C17:0 <i>iso</i> ⁴	0,36	0,34	0,34	0,33	0,30	0,01	0,00	0,00	0,37

¹y=0.010092+0.000107x-0.000004x² (R²=0,5528); ²y=0.005276-0.000014x+0.000001x² (R²=0,8347); ³y= 0.365457+0.001106x-0.000045x² (R² = 0,9636); ⁴y=0.3598-0.000873x (R²=0,9026); ^a erro padrão da média.

391
392
393
394
395

No que diz respeito ao somatório por classificação de ácidos graxos na gordura do

396 leite, verificou-se efeito nos somatórios dos ácidos graxos saturados (Σ AGS),
 397 monoinsaturados (Σ AGMI), monoinsaturados-cis (Σ AGMIC), poli-insaturados (Σ AGP), trans
 398 (Σ AGT), ramificados (Σ AGR), ímpar (Σ AGI), e de cadeia ímpar e ramificada (Σ AGIR), sendo
 399 que apenas Σ AGS apresentou aumento linear com a inclusão de palma nas silagens, já os
 400 demais somatórios diminuíram linearmente. Não houve efeito ($P>0,05$) nos somatórios
 401 dos ácidos graxos monoinsaturados-trans e lineares (Tabela 6).

402
 403 Tabela 6. Somatório por classificação de ácidos graxos (g/100g de ácidos graxos totais) na gordura do leite
 404 de vacas alimentadas com dietas contendo níveis crescentes de palma forrageira na silagem

Parâmetros	Dietas experimentais					EPM ^a	P-valor		
	0	15	30	45	60		Dieta	Linear	Quad
Saturados ¹	68,93	71,75	72,82	75,51	75,52	1,31	0,00	0,00	0,42
Monoinsaturados ²	28,74	25,96	25,03	22,54	22,53	1,28	0,01	0,00	0,41
Monoinsaturados-cis ³	27,18	24,83	23,40	20,83	20,99	1,35	0,01	0,00	0,45
Monoinsaturados-trans	2,09	2,14	2,06	2,00	1,94	0,09	0,49	0,11	0,55
Poliinsaturados ⁴	2,29	2,26	2,11	1,88	1,91	0,07	0,00	0,00	0,89
Trans ⁵	29,89	27,59	26,06	23,40	23,44	1,33	0,01	0,00	0,48
Lineares	107,34	107,54	107,20	106,83	106,90	0,43	0,75	0,25	0,85
Ramificadas ⁶	2,09	2,08	2,03	2,05	1,78	0,08	0,04	0,01	0,14
Ímpar ⁷	4,45	4,43	4,36	4,39	3,86	0,12	0,01	0,00	0,05
Ímpar e ramificada ⁸	1,54	1,54	1,45	1,47	1,27	0,05	0,00	0,00	0,05

405 ¹y= 69.514+0.113027x (R²=0,9326); ²y=28.1278-0.1056x (R²=0,9267); ³y= 26.7216-0.109187x (R² = 0,9337); ⁴y=2.314-0.007507x
 406 (R²=0,8930); ⁵y=29.4886-0.113840x (R²=0,9432); ⁶y=2.1364-0.004313x (R²=0,6344); ⁷y=4.5414-0.00812x (R²=0,6070); ⁸y=1.5836-
 407 0.004073x (R²=0,7444); ^a erro padrão da média.

408
 409 Não foi verificado ($P>0,05$) efeito dos níveis de palma apenas no $\Sigma\omega_6$ e na
 410 relação ω_6/ω_3 (tabela 7) do leite. Nos demais índices de qualidade da gordura do leite
 411 houve ($P<0,05$) efeito significativo da inclusão de palma nas silagens. O IA e o IT
 412 aumentaram linearmente com a inclusão da palma, enquanto h/H, AGD, AGP/AGS, $\Sigma\omega_3$
 413 diminuíram linearmente com a inclusão de palma.

414 Tabela 7. Índice de aterogenicidade (IA), Índice de trombogencidade (IT), relação
 415 hipo/hipercolesterolêmicos (h/H), ácidos graxos desejáveis (AGD), relação de ácidos graxos poli-
 416 insaturados/ácidos graxos saturados (AGP/AGS), somatório de ácidos graxos ω_6 , somatório de ácidos
 417 graxos ω_3 e relação ω_6/ω_3 do leite de vacas alimentadas com dietas contendo níveis crescentes de palma
 418 forrageira na silagem

Parâmetros	Dietas experimentais					EPM ^a	P-valor		
	0	15	30	45	60		Dieta	Linear	Quad
IA ¹	2,87	3,30	3,45	3,94	4,03	0,20	0,00	0,00	0,66
IT ²	3,63	4,03	4,32	4,87	5,02	0,25	0,00	0,00	0,79
h/H ³	0,74	0,62	0,57	0,48	0,48	0,04	0,00	0,00	0,22
AGD ⁴	40,79	36,95	36,10	32,64	32,75	1,13	0,00	0,00	0,22
AGP/AGS ⁵	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,00	0,00	0,00	0,36
$\Sigma \omega_6$	0,74	0,76	0,71	0,69	0,63	0,06	0,67	0,17	0,61
$\Sigma \omega_3$ ⁶	0,23	0,23	0,20	0,17	0,18	0,01	0,00	0,00	0,48

419 $\omega 6 / \omega 3$ 3,39 3,39 3,69 4,16 3,77 0,37 0,56 0,20 0,66
 420 $^1y=2.9286+0.019653x$ ($R^2=0,9595$); $^2y=3.648+0.024133x$ ($R^2=0,9783$); $^3y=0.7072-0.00432x$ ($R^2=0,9098$); $^4y=39.925-0.135967x$
 421 ($R^2=0,9114$); $^5y=0.0344-0.00016x$ ($R^2=0,9412$); $^6y=0.234-0.001127x$ ($R^2=0,8408$); ^a erro padrão da média.

423 Para os índices de atividade da enzima esteroil-CoA dessaturase-1 (SCD) na
 424 gordura do leite foi verificado efeito da dieta ($P<0,05$) apenas no SCD18, que apresentou
 425 comportamento decrescente com o aumento dos níveis de inclusão de palma. Não houve
 426 efeito da dieta ($P>0,05$) nos demais índices de atividades enzimáticas (Tabela 8).

427
 428 Tabela 8. Índices de atividade da enzima esteroil-CoA dessaturase-1 (SCD) na gordura do leite de vacas
 429 alimentadas com dietas contendo níveis crescentes de palma forrageira na silagem

Parâmetros	Dietas experimentais					EPM ^a	P-valor		
	0	15	30	45	60		Dieta	Linear	Quad
SCD12	0,08	0,09	0,08	0,07	0,08	0,01	0,84	0,54	0,75
SCD14	1,08	1,16	1,12	1,12	1,09	0,15	1,00	0,97	0,75
SCD16	2,11	1,97	1,98	1,90	1,93	0,13	0,82	0,29	0,63
SCD18 ¹	24,30	21,53	20,64	18,34	18,41	1,27	0,01	0,00	0,38
SCDRA	0,93	0,93	0,89	0,87	0,79	0,09	0,80	0,24	0,68

430 $^1y= 23.637600-0.099813x$ ($R^2 = 0,9197$); ^a erro padrão da média.

431
 432 Na análise de componentes principais (ACP) (Figura 1) verificou-se que os dois
 433 primeiros componentes principais, CP1 e CP2, juntos contribuíram e explicaram 86,7% da
 434 variação total dos resultados. Destacaram-se as variáveis com maior autovalor
 435 relacionadas ao perfil lipídico, como C18:0 (0.14541), C20:0 (0.14404), C18:1 cis-9
 436 (0.15567), C18:2 cis-9 e cis-12 (0.14638), C18:2 cis-9 trans-11 (0.14233), C18:3 n-3
 437 (0.15392), C16:1 cis-9 (0.14301), C17:1 (0.15168), C17:0 isso (0.14945), Σ AGMI (0.15619),
 438 Σ AGMIC (0.15581), Σ AGP (0.14954), Σ AGT (0.15633), na CP1. Ainda no mesmo
 439 componente, verificaram-se maiores autovalores na relação h/H (0.15557), além dos
 440 índices AGD (0.15545) e $\Sigma\omega 3$ (0.14364) e da atividade da enzima SCD18 (0.15552). A CP2
 441 explicou isoladamente 22% da variância total dos resultados, com destaque para lactose
 442 (0.24081), gordura (0.22095) sólidos totais (0.23545) e C15:0 (0.24334) com maiores
 443 autovalores.

458

459 A manutenção da produção de leite e dos teores de gordura, proteína, lactose,
460 caseína e sólidos totais do leite na dieta de vacas mestiças, indicam que a substituição
461 gradual do volumoso mais tradicional em regiões semiáridas brasileiras (sorgo) no
462 processo de ensilagem pela palma, não comprometeu o desempenho produtivo nem a
463 composição centesimal do leite. O consumo de matéria seca pelas vacas foi semelhante
464 ($P < 0,05$) entre os diferentes níveis de palma na dieta, com média de 14,06 kg dia⁻¹, assim
465 como o consumo de energia e proteína, justificando os resultados de produção e
466 composição química do leite. Achados semelhantes têm sido relatados em vacas
467 alimentadas com dietas contendo palma associada a silagens ou diferentes níveis de
468 concentrado, em que a produção e os teores de gordura e proteína do leite se
469 mantiveram estáveis (Araújo et al., 2004; De Oliveira Moraes et al., 2019; Inácio et al.,
470 2020; Albuquerque Sobral et al., 2022; Sobral et al., 2022). Isso reforça o potencial da
471 palma forrageira como componente estratégico de dietas completas em sistemas leiteiros
472 do semiárido, desde que a formulação garanta equilíbrio de fibra, energia e proteína.

473 A redução do NUL com o aumento da inclusão de palma na ensilagem indica maior
474 eficiência de utilização do nitrogênio dietético e melhor sincronização entre a oferta de
475 energia rapidamente fermentável e compostos nitrogenados no rúmen. Valores mais
476 altos de ureia no leite geralmente refletem excesso de proteína degradável ou
477 desequilíbrio entre carboidratos e nitrogênio. Ferreira et al. (2009) observaram que vacas
478 alimentadas com dietas à base de palma forrageira apresentaram concentrações de ureia
479 no leite compatíveis com um metabolismo nitrogenado eficiente, enquanto Guimarães et
480 al. (2023) verificaram diminuição da ureia no leite e na urina de vacas Girolando com a
481 substituição do feno de capim-tifton por palma.

482 O aumento nas concentrações de C16:0 (ácido palmítico) foi acompanhado por
483 elevação linear do somatório de ácidos graxos saturados (Σ AGS) na gordura do leite, ao
484 mesmo tempo em que os somatórios de ácidos graxos monoinsaturados (Σ AGMI),
485 monoinsaturados cis (Σ AGMIC), poli-insaturados (Σ AGP), trans (Σ AGT), ramificados (Σ AGR)
486 e ímpares (Σ AGI e Σ AGIR) apresentaram redução linear. Esses resultados indicam que,
487 embora a composição centesimal do leite não tenha sido alterada, a inclusão crescente
488 de palma forrageira na forma ensilada modificou de maneira consistente o perfil lipídico,

489 tornando a gordura do leite mais saturada.

490 O aumento de C16:0 e de Σ AGS sugere intensificação da síntese de ácidos graxos
491 de novo na glândula mamária, processo que utiliza acetato e β -hidroxibutirato gerados na
492 fermentação ruminal dos carboidratos (Siqueira et al., 2017). Considerando o alto teor de
493 carboidratos não fibrosos e a elevada fermentabilidade ruminal da palma (Silva, 2018;
494 Dutra et al., 2024), é plausível que a maior participação dessa forrageira na dieta tenha
495 aumentado a produção de precursores lipogênicos, resultando em maior síntese
496 endógena de ácidos graxos de cadeia média, em especial o palmítico.

497 Por outro lado, o perfil de ácidos graxos octadecanóicos mostrou redução linear
498 das concentrações de C18:1 cis-9, C18:1 cis-12, C18:2 cis-9,cis-12 e C18:3 n-3 com o
499 aumento dos níveis de palma, sem alteração das concentrações de C18:0 e de CLA (C18:2
500 cis-9,trans-11). De forma coerente, os somatórios de AGMI e AGP diminuíram
501 linearmente, assim como o somatório de ácidos graxos ω 3 ($\Sigma\omega$ 3), enquanto o somatório
502 de ω 6 ($\Sigma\omega$ 6) e a relação ω 6/ ω 3 não foram afetados. Esses resultados indicam que a maior
503 inclusão de palma ensilada reduziu a contribuição de ácidos graxos de cadeia longa
504 insaturados de origem dietética na gordura do leite, sem modificar a proporção relativa
505 entre ω 6 e ω 3. Esse comportamento é compatível com dietas baseadas em forragens
506 conservadas com baixa participação de fontes lipídicas insaturadas, nas quais a
507 biohidrogenação ruminal tende a limitar a chegada de ácidos graxos poli-insaturados ao
508 duodeno (Siqueira et al., 2017; Medeiros et al., 2024).

509 Os resultados diferem, em parte, de estudos que avaliaram a palma em associação
510 a fontes ricas em lipídios insaturados. Araújo et al. (2020), Corrêa et al. (2025) e Silva et
511 al. (2020) observaram elevação de C18:1 trans-11, CLA e outros ácidos graxos de interesse
512 funcional em vacas e cabras leiteiras alimentadas com cladódios de *Opuntia* spp.
513 combinados a fontes concentradas de lipídios. No presente estudo, a ausência de
514 suplementação lipídica específica e o uso da palma como componente volumoso podem
515 ter favorecido a síntese de AG saturados de novo, com menor acúmulo de intermediários
516 e produtos da dessaturação de C18:0, resultando na redução de C18:1 cis-9, C18:2 e
517 C18:3 n-3.

518 A redução de frações ímpares e ramificadas da gordura do leite, evidenciada
519 também pela diminuição linear do Σ AGI, Σ AGIR e Σ AGR, sugere que o aumento da inclusão

520 de palma pode ter reduzido a contribuição relativa de lipídios de origem bacteriana para a
521 gordura do leite. Isso ocorre porque muitos ácidos graxos de cadeia ímpar e ramificada
522 são sintetizados por bactérias ruminais e incorporados ao leite (Lanier & Corl, 2015).

523 Os índices nutricionais da gordura do leite foram significativamente influenciados
524 pela inclusão crescente de palma forrageira ensilada na dieta das vacas, refletindo
525 diretamente as alterações observadas no perfil de ácidos graxos. De acordo com Ulbricht
526 e Southgate (1991), valores mais baixos dos IA e IT, associados a valores mais elevados da
527 relação h/H, dos AGD e da razão AGP/AGS, indicam uma gordura com maior potencial
528 benéfico à saúde humana, por estarem relacionados à redução do risco de doenças
529 cardiovasculares. No presente estudo, o aumento linear de IA e IT, concomitante à
530 redução de h/H, AGD e AGP/AGS, evidencia uma piora progressiva da qualidade
531 nutricional da gordura do leite à medida que se elevaram os níveis de palma na silagem.

532 Essas alterações podem ser atribuídas, principalmente, ao aumento do somatório
533 de ácidos graxos saturados (Σ AGS), com destaque para o ácido palmítico (C16:0), e à
534 redução dos ácidos graxos monoinsaturados e poli-insaturados, especialmente aqueles de
535 cadeia longa e da série ω 3. O C16:0 é reconhecido como um dos principais ácidos graxos
536 associados ao aumento das lipoproteínas de baixa densidade (LDL-colesterol) em
537 humanos, o que explica sua forte contribuição para os valores mais elevados de IA e IT
538 observados nas dietas com maior inclusão de palma. Em contrapartida, a diminuição dos
539 AGMI, AGP e do $\Sigma\omega$ 3 reduz a presença de ácidos graxos com efeito cardioprotetor,
540 comprometendo a relação h/H da gordura do leite.

541 Além disso, a redução dos índices de atividade da enzima esteroil-CoA
542 dessaturase-1 (SCD18) observada nos níveis mais elevados de inclusão de palma reforça
543 esse cenário, uma vez que menor atividade dessaturase implica menor conversão de
544 ácidos graxos saturados em monoinsaturados na glândula mamária. Dessa forma, ainda
545 que a produção e a composição centesimal do leite tenham sido mantidas, os resultados
546 indicam que a inclusão crescente de palma forrageira ensilada promoveu uma gordura
547 mais saturada, com índices lipídicos menos favoráveis sob a perspectiva nutricional e
548 funcional, especialmente quando comparada a dietas com menores níveis de substituição
549 do sorgo na silagem. A redução do SCD18 está de acordo com a diminuição observada
550 para C18:1 cis-9, sugerindo menor conversão de C18:0 em C18:1 cis-9 na glândula

551 mamária. Essa menor atividade dessaturase, associada à menor oferta de AG de cadeia
552 longa insaturados e ao aumento da síntese de AG saturados de novo, contribui para o
553 perfil mais saturado da gordura do leite observado nos níveis mais elevados de inclusão
554 de palma.

555 De forma geral, os resultados demonstram que a utilização de silagem mista de
556 palma forrageira e sorgo biomassa BRS 716 é viável do ponto de vista produtivo e
557 tecnológico, uma vez que não houve prejuízo na produção de leite, na composição
558 centesimal e nos parâmetros físico-químicos. No entanto, a inclusão crescente de palma
559 ensilada promoveu alterações importantes no perfil de ácidos graxos e nos índices
560 nutricionais da gordura. Nesse contexto, a palma forrageira conservada na forma de
561 silagem mostra-se eficiente para garantir resiliência alimentar em sistemas leiteiros do
562 semiárido, mas o seu uso em níveis elevados deve ser ponderado quando o objetivo é a
563 produção de leite com maior valor agregado em termos de qualidade lipídica, podendo
564 ser recomendada a utilização de níveis moderados de inclusão ou a associação com
565 fontes lipídicas insaturadas para otimizar o perfil funcional da gordura.

566 A análise multivariada corroborou os achados univariados ao evidenciar que a
567 principal fonte de variação entre os tratamentos esteve associada às alterações no perfil
568 lipídico e nos índices nutricionais da gordura do leite. Na ACP, o CP1 concentrou elevadas
569 cargas (autovalores) para variáveis relacionadas aos ácidos graxos de cadeia longa e
570 insaturados (por exemplo, C18:1 cis-9, C18:2 e C18:3 n-3), bem como para somatórios
571 (Σ AGMI, Σ AGP e Σ AGT), índices de qualidade (h/H e AGD), $\Sigma\omega$ 3 e a atividade estimada da
572 SCD18, indicando que o gradiente de inclusão de palma ensilada promoveu uma
573 reorganização conjunta dessas variáveis, com tendência de redução das frações
574 insaturadas e dos marcadores associados a melhor qualidade nutricional da gordura. Por
575 sua vez, o CP2 apresentou maior contribuição de variáveis de composição centesimal do
576 leite (lactose, gordura e sólidos totais), o que é coerente com a ausência de efeitos
577 relevantes dos tratamentos sobre a maioria desses parâmetros nas análises de regressão,
578 sugerindo que a discriminação entre dietas ocorreu principalmente pela fração lipídica e
579 não pela composição global do leite. Adicionalmente, o agrupamento hierárquico indicou
580 maior similaridade entre os tratamentos 0%, 15% e 45% de inclusão, reforçando que,
581 dentro dessa faixa, as respostas do conjunto de variáveis avaliadas permaneceram mais

582 próximas, enquanto os níveis mais extremos tenderam a se afastar em função da
583 alteração conjunta dos ácidos graxos e dos índices nutricionais. Assim, as abordagens
584 multivariadas (ACP e Cluster) fortalecem a interpretação de que a palma ensilada pode
585 ser utilizada como estratégia de substituição parcial do sorgo sem prejuízo produtivo,
586 porém, em níveis elevados, altera o “perfil global” das variáveis lipídicas e nutricionais do
587 leite, reduzindo sua qualidade funcional.

588

589 **4.5 CONCLUSÃO**

590

591 Conclui-se que a inclusão de níveis crescentes de palma forrageira ensilada
592 associada ao sorgo biomassa BRS 716 na dieta de vacas leiteiras $\frac{3}{4}$ Holandês \times Zebu é uma
593 estratégia viável para sistemas de produção no semiárido, uma vez que níveis de até 60%
594 na silagem não comprometem o desempenho produtivo nem os principais parâmetros
595 físico-químicos e microbiológicos do leite. Contudo, sob o ponto de vista da qualidade
596 nutricional da gordura do leite, níveis superiores a 45% de inclusão promovem alterações
597 desfavoráveis no perfil de ácidos graxos, refletindo negativamente nos índices
598 nutricionais. Assim, recomenda-se a utilização de até 45% de palma forrageira na silagem
599 como nível mais adequado para conciliar desempenho produtivo e qualidade funcional do
600 leite.

601

602 **4.6 AGRADECIMENTOS**

603

604 À FAPEMIG, pelo auxílio financeiro. Ao CNPq, INCT de Ciência Animal/CNPq
605 (Processo 425168/2025-5), CAPES e Unimontes. À EPAMIG-Nova Porteirinha.

606

607

608

609

610

611

612

613 **4.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

614

615 Albuquerque-Sobral, A. J. S. et al. Forage cactus combined with different silages as diets
616 for lactating Red Sindhi cows. *Revista Caatinga*, Mossoró, v. 35, n. 4, p. 945–955, out.–
617 dez. 2022.

618

619 Almeida, G.A.P. Fontes alternativas de alimentos para vacas em lactação. Tese
620 (Doutorado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil, 2018.

621

622 Araujo, D. M. Et Al. Partially replacing sorghum silage with cactus (*Opuntia stricta*)
623 cladodes in a soybean oil-supplemented diet markedly increases trans-11 C18:1,
624 cis-9, trans-11 CLA and 18:2 n-6 contents in cow milk. *Journal of Animal Physiology and*
625 *Animal Nutrition*, 2020.

626

627 Almeida, G. A. P. Palma (*Opuntia ficus-indica* Mill) cv. Gigante em suplementos para
628 fêmeas leiteiras em crescimento a pasto. 2014. 59 f. Dissertação (Mestrado em Ciência
629 Animal e Pastagens) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Garanhuns, 2014.

630

631 Araújo, P. R. B. et al. Substituição do milho por palma forrageira em dietas completas para
632 vacas em lactação. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, MG, v. 33, supl. 1, p. 1850–
633 1857, 2004.

634

635 Ben Salem, H.; Nefzaoui, A.; Ben Salem, L. Supplementing spineless cactus (*Opuntia ficus-*
636 *indica* f. *inermis*) based diets with urea-treated straw or oldman saltbush (*Atriplex*
637 *nummularia*): effects on intake, digestion and sheep growth. *Journal of Agricultural*
638 *Science*, Cambridge, v. 138, p. 85–92, 2002.

639

640 Brito, Gêtica Samíramys Mayra da Silva et al. Mixed silages of cactus pear and gliricidia:
641 chemical composition, fermentation characteristics, microbial population and aerobic
642 stability. *Scientific Reports*, v. 10, n. 1, p. 6834, 2020. DOI: 10.1038/s41598-020-63905-9.

643

644 Cavalcanti, C. V. A. et al. Palma forrageira enriquecida com uréia em substituição ao feno
645 de capim-tifton 85 em rações para vacas da raça Holandesa em lactação. Revista
646 Brasileira de Zootecnia, Viçosa, MG, v. 37, n. 4, p. 689–693, 2008.

647

648 Cordeiro, M. W. S. Silagens com palma forrageira para novilhas mestiças leiteiras em
649 região semiárida. 2021. 64 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade
650 Estadual de Montes Claros, Janaúba, 2021.

651

652 Corrêa, A. M. N. et al. Feeding Cactus (*Opuntia stricta* [Haw.] Haw.) Cladodes as a Partial
653 Substitute for Elephant Grass (*Pennisetum purpureum*) Induces Beneficial Changes in Milk
654 Fatty Acid Composition of Dairy Goats Fed Full-Fat Corn Germ. Dairy, v. 6, n. 3, art. 23,
655 2025.

656

657 Costa, Natanael Mendes. Efeito de diferentes volumosos associados ao feno do
658 pseudocaulé da bananeira sobre a qualidade do queijo e do leite de vacas F1
659 Holandês/Zebu. 2019. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Estadual de
660 Montes Claros, Janaúba, 2019. Disponível em:
661 <https://repositorio.unimontes.br/handle/1/1661>. Acesso em: 30 jan. 2026.

662

663 De Oliveira Moraes, F. et al. Feeding cactus (*Opuntia* spp.) to dairy cows in semi-arid
664 regions: effects on rumen microbial protein synthesis and milk production. Livestock
665 Science, v. 228, p. 103–110, 2019.

666

667 De Souza-Melo, D. A.; Pinheiro-Leite, A. C.; Da Silva-Lima, R.; Rodrigues, J. M. C. S.; De
668 Almeida-Araújo, C.; De Sousa-Cunha, D.; Pinheiro-Costa, C. D.; Nogueira-De Sá, M. K.;
669 Rodrigues-Magalhães, A. L.; Sena-Campos, F. The inclusion of cactus pear changes the
670 fermentation process, chemical composition and aerobic stability of arboreal cotton
671 silages. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*, v. 24, p. 70–82,
672 2022. DOI: 10.56890/jpacd.v24i.43.

673

674 Dos Santos, D. A. et al. Is the total mixed ration the best option for feeding crossbred
675 dairy cows using diets based on cactus cladodes on family farms? *Tropical Grasslands –*
676 *Forrajes Tropicales*, v. 10, n. 2, p. 124–133, 2022.

677

678 Dutra, I. C. et al. Forage cactus (*Opuntia ficus-indica* (L.) Miller) f. Cactaceae as an
679 alternative for ruminant feeding. *Brazilian Journal of Science*, v. 3, n. 9, p. 33–41, 2024.

680

681 Embrapa. Palma forrageira na alimentação de bovinos leiteiros: cartilhas elaboradas
682 conforme a metodologia e-Rural / Tadeu Vinhas Voltolini [et al.]. Brasília, DF: Embrapa,
683 2016. 24 p.

684

685 Embrapa. Sorgo biomassa BRS 716: produtividade e qualidade para múltiplos usos. Prosa
686 Rural, Brasília, DF: Embrapa / Embrapa Milho e Sorgo, 2021. Disponível em:
687 <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/113033>. Acesso em: 13 fev. 2026.

688

689 Ferreira, M. A. et al. Síntese de proteína microbiana e concentrações de uréia em vacas
690 alimentadas com dietas à base de palma forrageira e diferentes volumosos. *Revista*
691 *Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, MG, v. 38, n. 1, p. 159–165, 2009.

692

693 GAMA, Marco A. S.; PAULA, Talita A. De; VÉRAS, Antônia S. C.; GUIDO, Sebastião I.;
694 BORGES, Cristiano A. V.; ANTONIASSI, Rosemar; LOPES, Fernando C. F.; NEVES, Maria L.
695 M. W.; FERREIRA, Marcelo D. A. Partially replacing sorghum silage with cactus (*Opuntia*
696 *stricta*) cladodes in a soybean oil-supplemented diet markedly increases trans-11 18:1,
697 cis-9, trans-11 CLA and 18:2 n-6 contents in cow milk. *Journal of Animal Physiology and*
698 *Animal Nutrition*, v. 105, n. 2, p. 232–246, 2021. DOI: 10.1111/jpn.13470.

699

700 Guimarães, V. P. et al. Substituição do feno de capim-tifton por palma forrageira em
701 dietas para vacas leiteiras: efeitos sobre parâmetros sanguíneos, urina e leite. *Arquivo*
702 *Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v. 75, p. 109–118, 2023.

703

704 Hammer, Ø.; Harper, D.A.T.; Ryan, P.D. (2001). *PAST: Paleontological statistics software*
705 *package for education and data analysis. Palaeontologia Electronica*, v. 4, n. 1, art. 9, 9 p.
706 Disponível em: http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm. Acesso em: 30
707 jan. 2026

708

709 Inácio, J. G. et al. Effect of different concentrate levels in *Opuntia stricta*-based diets on
710 performance of Girolando cows. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, v. 33, n. 1,
711 p. 35–43, 2020.

712

713 Jorge, R. F. et al. Adapting to climate change with *Opuntia*. *Plants*, v. 12, n. 16, art. 2907,
714 2023.

715

716 Junior, D. A. G.; Lima, G. A. R.; Chirinda, A. T.; et al. Inclusion of *Gliricidia* Hay in Total
717 Mixed Rations Silage Made from Giant Cactus Forage. *Agriculture*, v. 15, n. 8, p. 813,
718 2025.

719

720 Kesley, J.A.; Corl, B.A.; Collier, R.J.; Bauman, D.E. The effect of breed, parity, and stage of
721 lactation on conjugated linoleic acid (CLA) in milk fat from dairy cows. *Journal of Dairy*
722 *Science*, 86, 2588-2597, 2003.

723 Mahmoud, R. et al. Progress and trends in forage cactus silage research: a bibliometric
724 analysis. *Fermentation*, v. 10, p. 531, 2023.

725

726 Marte-Pereira, D.; Oliveira, J. S.; Sousa-Santos, F. N.; Silva-Macêdo, A. J.; Batista-Gomes,
727 P. G.; Pereira-Santana, L.; Silva, E. S.; Lima-Cruz, G. F.; Fernandes-Perazzo, A.; Mauro-
728 Santos, E. *Forage cactus as a modulator of forage sorghum silage fermentation: An*
729 *alternative for animal feed in drylands*. *Chilean Journal of Agricultural Research*, v. 85, n.
730 1, 2025. DOI: 10.4067/S0718-58392025000100047.

731

732 Medeiros, I. P. S. et al. Cactus cladodes and sugarcane bagasse can partially replace
733 earless corn silage in diets of lactating dairy cows. *Dairy*, v. 5, n. 1, p. 33–43, 2024.

734

735 Monção, F. P. et al. Impact of mixed forage silage with BRS Capião grass, ground corn,
736 and varying forage palm levels on aerobic stability, losses, and nutritional value. *Revista*
737 *Brasileira de Zootecnia*, v. 51, 2022.

738

739 Nefzaoui, A.; Louhaichi, M.; Ben Salem, H. Cactus as a tool to mitigate drought and to
740 combat desertification. *Journal of Arid Land Studies*, v. 24, p. 121–124, 2014.

741

742 Nobre, I. M. P. et al. Forage cactus silage for mitigating water restriction effects on lambs.
743 *Biology, Basel*, v. 3, n. 2, p. 191–207, 2023.

744

745 OLIVEIRA, P. V. C. De et al. Mixed sorghum and forage cactus silage: composition,
746 digestibility, fermentation, and losses. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 44, n. 2, p. 929–936,
747 2023.

748

749 Paes, F. et al. Progress and trends in forage cactus silage research: a bibliometric analysis.
750 *Fermentation*, v. 10, n. 10, p. 531, 2024.

751

752 Pastorelli, R. et al. *Opuntia* spp. as renewable fodder for sustainable livestock production
753 in arid regions: nutritional, environmental and economic perspectives. *Journal of Arid*
754 *Environments*, v. 200, p. 104–113, 2022. doi:
755 <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2022.104813>.

756

757 Pessoa, R.A.S.F. et al. Desempenho de vacas leiteiras submetidas a diferentes estratégias
758 alimentares. *Revista Archivos de Zootecnia*, v. 53, n. 203, p. 309–320, 2004.

759

760 Queiroz, F. E. De et al. Effect of row spacing and maturity at harvest on the fermentative
761 profile, aerobic stability, and nutritional characteristics of biomass sorghum (BRS 716)
762 silage in the semiarid region of Brazil. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 50, e20200254,
763 2021.

764

765 Rehagro. Palma forrageira na alimentação de vacas leiteiras: como utilizar? Blog Rehagro,
766 2018. Disponível em: <https://rehagro.com.br/blog/palma-forrageira-na-alimentacao-de->
767 [vacas-leiteiras/](https://rehagro.com.br/blog/palma-forrageira-na-alimentacao-de-vacas-leiteiras/). Acesso em: 18 maio 2025.

768

769 Rodrigues, A. L. et al. Morphological and nutritional characterization of the cladodes of
770 forage cactus species in the Brazilian semi-arid. *Journal of Arid Environments*, v. 205,
771 p. 104–112, 2024.

772

773 Sá, M. K. N. De et al. Fermentation characteristics, chemical composition and microbial
774 populations of cactus pear-based silages. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, v. 43,
775 e52171, 2021.

776 Santos, S. A. et al. Progress and Trends in Forage Cactus Silage Research: A Bibliometric
777 Perspective. *Fermentation*, v. 10, p. 1–21, 2024.

778

779 Santos Sá, W. C. C. Dos. Silagem de palma forrageira: uma alternativa para o semiárido.
780 2018. Dissertação (Doutorado em Zootecnia) – Programa de Doutorado Integrado em
781 Zootecnia, Universidade Federal da Paraíba/University of Delaware (PDIZ-UFPB), 10 ago.
782 2018.

783

784 Sklan, D.; Ashkenazi, R.; Braun, A.; Devorin, A.; Tabori, K. Fatty acids, calcium soaps of
785 fatty acids, and cottonseeds fed to high yielding cows. *Journal of Dairy Science*, v. 75, p.
786 1022 2463–2472, 1992. 1023

787

788 Silva Brito, A. F. et al. Nutritional, fermentative and microbiological dynamics of cactus
789 pear silage with *Gliricidia*. *Scientific Reports*, v. 10, 6762, 2020.

790

791 Silva, G. L. Avaliação do valor nutricional de genótipos de palma forrageira para
792 ruminantes no semiárido brasileiro. 2018. 96 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) –
793 Universidade Federal de Campina Grande, Patos, PB, 2018.

794

795 Siqueira, M.C.B. et al. Optimizing the use of spineless cactus in the diets of cattle: Total
796 and partial digestibility, fiber dynamics and ruminal parameters. *Animal Feed Science and*
797 *Technology*, v. 226, p. 56–64, 2017.

798

799 Soares, C., et al. Qualidade do queijo produzido com leite de vacas alimentadas com
800 palma forrageira com diferentes volumosos. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 40, n.
801 1, p. 353–364, 2019.

802

803 Soares, M. S. Palma forrageira: aspectos do cultivo e desempenho animal. *Nutritime*
804 *Revista Eletrônica*, Viçosa, v. 14, n. 4, p. 6041–6055, jul./ago. 2017.

805

806 Sobral, A. J. Da S. et al. Forage cactus combined with different silages as diets for dairy
807 cows in the semiarid region. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, v. 25, e004582,
808 2022.

809

810 Ulbricht, T. L. V.; Southgate, D. A. T. Coronary heart disease: seven dietary factors. *The*
811 *Lancet*, v. 338, n. 8778, p. 985–992, 19 out. 1991. DOI: 10.1016/0140-6736(91)91846-M.

812

813 Vilela, M. Da S. et al. Evaluation of feeding supply and forage cactus processing for
814 lactation cows. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, MG, v. 39, n. 12, p. 2744–2752,
815 2010.

816

817

818

819

820

821

822

823

824

825

826 **4.8 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

827

828 Com base nos resultados obtidos, verifica-se que a utilização de silagem mista
829 composta por palma forrageira e sorgo biomassa BRS 716 constitui uma estratégia
830 tecnicamente viável para sistemas de produção de leite em regiões semiáridas. A inclusão
831 de níveis crescentes de palma forrageira ensilada não comprometeu o desempenho
832 produtivo das vacas nem os principais parâmetros físico-químicos e microbiológicos do
833 leite, evidenciando sua aplicabilidade como alternativa alimentar em condições de
834 restrição hídrica.

835 Entretanto, observou-se que níveis mais elevados de inclusão de palma forrageira
836 promoveram alterações no perfil de ácidos graxos da gordura do leite, com aumento da
837 proporção de ácidos graxos saturados e redução de compostos de interesse funcional,
838 como os ácidos graxos mono e poli-insaturados. Essas modificações refletem diretamente
839 na qualidade nutricional do leite, indicando a necessidade de equilíbrio na formulação das
840 dietas.

841 Dessa forma, recomenda-se a inclusão de até 45% de palma forrageira na silagem
842 associada ao sorgo biomassa BRS 716, por representar um ponto de equilíbrio entre
843 manutenção do desempenho produtivo e preservação da qualidade nutricional da
844 gordura do leite. Níveis superiores podem ser utilizados sob determinadas condições,
845 porém com atenção aos possíveis impactos sobre o perfil lipídico.

846 Por fim, destaca-se a importância da continuidade de estudos que avaliem
847 estratégias nutricionais complementares, como a inclusão de fontes de lipídios
848 insaturados, visando mitigar os efeitos negativos sobre o perfil de ácidos graxos e
849 potencializar a qualidade funcional do leite produzido em sistemas adaptados ao
850 semiárido.