



**Programa de Pós-Graduação em Zootecnia**

**SILAGEM MISTA DE PALMA FORRAGEIRA E SORGO  
BIOMASSA NA ALIMENTAÇÃO DE VACAS MESTIÇAS EM  
LACTAÇÃO**

**PEDRO HENRIQUE ALVES DE OLIVEIRA**

**2025**

**PEDRO HENRIQUE ALVES DE OLIVEIRA**

**SILAGEM MISTA DE PALMA FORRAGEIRA E SORGO BIOMASSA NA ALIMENTAÇÃO  
DE VACAS MESTIÇAS EM LACTAÇÃO**

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

**Orientador**

**Prof. Dr. Vicente Ribeiro Rocha Junior**

**Janaúba  
2025**

## Ficha Catalográfica

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

Oliveira, Pedro Henrique Alves de

O48s      Silagem mista de palma forrageira e sorgo biomassa na alimentação de vacas mestiças em lactação [manuscrito] / Pedro Henrique Alves de Oliveira – 2025.  
77 p.

Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Universidade Estadual de Montes Claros – Janaúba, 2025.

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

1. Palma forrageira. 2. Ruminante. 3. Silagem. 4. Sorgo forrageiro. 5. Sorgo Silagem. 6. Vaca. I. Rocha Júnior, Vicente Ribeiro. II. Universidade Estadual de Montes Claros. III. Título.

CDD. 636.20855

Catálogo: Joyce Aparecida Rodrigues de Castro Bibliotecária CRB6/2445

Montes Claros, 16 de junho de 2025.

Declaramos para os devidos fins que no dia **30 de Maio de 2025**, o Senhor **Pedro Henrique de Oliveira, CPF 143.620.066-05**, defendeu sua Dissertação de Mestrado, Intitulada “**Silagem mista de palma forrageira e sorgo biomassa na alimentação de vacas mestiças em lactação**” no Programa de Pós-graduação em Zootecnia da Unimontes – Universidade Estadual de Montes Claros, aprovada pela banca examinadora:

**Dr. Vicente Ribeiro Rocha Júnior/ Presidente/ UNIMONTES**

**Dr. Flávio Pinto Monção/ Membro Interno/ UNIMONTES**

**Dr. João Paulo Sampaio Rigueira/ Membro Interno/  
UNIMONTES**

**Dr. André Santos de Souza/ Membro Interno/ UNIMONTES**

**Dr. Tadeu Silva de Oliveira/ Membro Externo/UENF**

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

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

---



Documento assinado eletronicamente por **Vicente Ribeiro Rocha Junior , Professor(a)**, em 16/06/2025, às 18:28, 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 16/06/2025, às 19:50, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 47.222, de 26 de julho de 2017](#).

---



Documento assinado eletronicamente por **Tadeu Silva de Oliveira , Usuário Externo**, em 17/06/2025, às 16:52, 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 17/06/2025, às 17:04, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 47.222, de 26 de julho de 2017](#).

---



Documento assinado eletronicamente por **João Paulo Sampaio Rigueira , Coordenador (a)**, em 30/06/2025, às 08:45, 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](http://sei.mg.gov.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **116147292** e o código CRC **CBADC1C6**.

A Deus, pelo dom da vida. Aos meus pais, Mara Rúbia e Hélio, pelo apoio. Aos meus irmãos, Ana Carolina e Marco Antônio. Aos meus tios e primos. A minha namorada, Júlia, e toda a sua família. Aos meus amigos.

**Dedico**

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pela constância em minha vida, me dando coragem, saúde e discernimento nas minhas escolhas;

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG, pelo auxílio financeiro ao projeto;

Ao CNPq e INCT-Ciência Animal;

À Universidade Estadual de Montes Claros – UNIMONTES, pela minha formação;

Ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, pela oportunidade;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pela concessão de bolsa de estudos;

À EPAMIG, pela doação da palma forrageira;

Aos professores da pós-graduação, pelos ensinamentos, e conhecimentos transmitidos;

Ao meu orientador, Professor Vicente Ribeiro Rocha Júnior, pela ajuda durante o mestrado, orientação, paciência, conselhos, ensinamentos, conhecimentos transmitidos, incentivo e amizade;

Aos Professores Tadeu Silva de Oliveira e João Paulo Sampaio Rigueira, por aceitarem participar da minha banca de defesa;

Aos meus coorientadores, professor Flávio Pinto Moção e André Santos de Souza, pela parceria, ajuda, presteza e disponibilidade;

Aos funcionários da Unimontes e da Fazenda experimental da Unimontes, em especial Cláudio, Romilson e Gleysson, pela ajuda, disponibilidade, presteza e amizade;

Aos amigos do laboratório de análise de alimentos, pela disposição, presteza e amizade;

Aos colegas da Pós-Graduação, pelo companheirismo e amizade;

A todos que, de alguma forma, me ajudaram nesta grande conquista.

Muito obrigado!

## SUMÁRIO

<b>NORMAS DA REVISTA CIENTÍFICA.....</b>	<b>10</b>
<b>RESUMO GERAL .....</b>	<b>11</b>
<b>GENERAL ABSTRACT .....</b>	<b>13</b>
<b>1. INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>15</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>16</b>
<b>2.1 Característica do sorgo biomassa BRS 716.....</b>	<b>16</b>
<b>2.2 Características nutricionais da palma forrageira .....</b>	<b>17</b>
<b>2.3 Ensilagem da palma forrageira.....</b>	<b>19</b>
<b>2.4 Limitações do uso da palma forrageira.....</b>	<b>23</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>25</b>
<b>CAPÍTULO 1. Silagem mista de palma forrageira e sorgo biomassa na alimentação de vacas mestiças em lactação .....</b>	<b>31</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>31</b>
<b>3. Introdução .....</b>	<b>32</b>
<b>4. Material e métodos .....</b>	<b>33</b>
<i>Animais e Instalações.....</i>	<i>33</i>
<i>Dietas experimentais e manejo .....</i>	<i>33</i>
<i>Culturas e Ensilagem .....</i>	<i>34</i>
<i>Amostragem e análises químicas.....</i>	<i>35</i>
<i>Degradabilidade ruminal in situ das silagens .....</i>	<i>36</i>
<i>Determinação do consumo e digestibilidade de nutrientes .....</i>	<i>37</i>
<i>Balanço de nitrogênio, síntese microbiana e parâmetros ruminais .....</i>	<i>38</i>
<i>Peso, escore corporal, produção e composição do leite .....</i>	<i>41</i>
<i>Comportamento ingestivo.....</i>	<i>41</i>
<i>Análises de componentes principais .....</i>	<i>42</i>
<i>Delineamento experimental e análises estatísticas .....</i>	<i>43</i>



<i>Análise de custo com alimentação .....</i>	<i>44</i>
<b>5. Resultados .....</b>	<b>44</b>
<i>Degradabilidade in situ das silagens.....</i>	<i>44</i>
<i>Consumo e digestibilidade aparente de matéria seca e nutrientes e escore fecal.....</i>	<i>45</i>
<i>Balanço de nitrogênio, síntese microbiana e parâmetros ruminais .....</i>	<i>45</i>
<i>Comportamento ingestivo e eficiência de alimentação.....</i>	<i>46</i>
<i>Desempenho animal e composição do Leite .....</i>	<i>47</i>
<i>Análise de custo.....</i>	<i>48</i>
<i>Análise de componentes principais .....</i>	<i>48</i>
<b>6. Discussão .....</b>	<b>49</b>
<i>Degradabilidade in situ das silagens.....</i>	<i>49</i>
<i>Consumo e digestibilidade aparente da matéria seca e nutrientes e escore fecal.....</i>	<i>50</i>
<i>Balanço de nitrogênio, síntese microbiana e parâmetros ruminais .....</i>	<i>52</i>
<i>Comportamento ingestivo e eficiência de alimentação.....</i>	<i>54</i>
<i>Desempenho animal e composição do Leite .....</i>	<i>55</i>
<i>Análise de custo com alimentação.....</i>	<i>56</i>
<i>Análise de componentes principais .....</i>	<i>57</i>
<b>7. Conclusão.....</b>	<b>58</b>
<b>Referências .....</b>	<b>59</b>
<b>8. Considerações finais .....</b>	<b>79</b>

## **NORMAS DA REVISTA CIENTÍFICA**

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

## RESUMO GERAL

OLIVEIRA, Pedro Henrique Alves de. **Silagem mista de palma forrageira e sorgo biomassa na alimentação de vacas mestiças em lactação**. 2025. p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba-MG. Brasil.<sup>1</sup>

A palma forrageira destaca-se como estratégia para a alimentação de ruminantes em regiões semiáridas, devido ao seu elevado teor de água, capacidade de adaptação a ambientes áridos e composição nutricional favorável. No entanto, seu uso exclusivo é limitado por seu baixo teor de fibra efetiva e proteína bruta. A ensilagem com forragens fibrosas, como o sorgo biomassa, surge como uma alternativa viável para potencializar seu aproveitamento em dietas de vacas leiteiras. O estudo teve como objetivo identificar a melhor proporção de palma forrageira na ensilagem com sorgo biomassa BRS 716 para vacas mestiças, avaliando-se a qualidade nutricional da silagem, o consumo e a digestibilidade dos nutrientes, o comportamento ingestivo, o balanço de nitrogênio, a síntese microbiana, a fermentação ruminal, além da produção e composição do leite. O experimento foi realizado na Fazenda Experimental da Unimontes (Janaúba/MG), utilizando-se 10 vacas em lactação ( $471,5 \pm 52,8$  kg) em delineamento com dois quadrados latinos  $5 \times 5$  simultâneos, ao longo de 90 dias. Foram testadas cinco dietas com níveis crescentes de inclusão de palma (0%, 15%, 30%, 45% e 60%) na ensilagem com sorgo biomassa (com base na matéria natural). A relação volumoso:concentrado das dietas foi de aproximadamente 75:25. Os dados foram submetidos a análise de variância e regressão, a 5% de significância. O aumento dos níveis de palma na silagem diminuiu o consumo ( $P = 0,01$ ) e digestibilidade ( $P < 0,05$ ) da FDNcp, respectivamente, em 12,03 g/dia e 2,14% para cada 1% adicional de inclusão da palma na silagem. Em contrapartida, houve aumento no consumo ( $P < 0,05$ ) e na digestibilidade ( $P = 0,01$ ) dos carboidratos não fibrosos (14,87 g/dia e 0,0008% a cada 1% de inclusão, respectivamente), além de uma redução no consumo de extrato etéreo (0,67 g/dia por ponto percentual). O teor de ácido lático elevou-se ( $P$

---

<sup>1</sup> Comitê de Orientação: Prof. Dr. Vicente Ribeiro Rocha Júnior – UNIMONTES (Orientador); Prof. Dr. Flávio Pinto Monção – Unimontes; Prof. Dr. João Paulo Sampaio Rigueira – Unimontes; Dr. André Santos de Souza – Unimontes; Dr. Tadeu Silva de Oliveira – UENF.

= 0,05) 0,8g/L para cada 1% de aumento de palma, enquanto os demais parâmetros ruminais e a produção microbiana mantiveram-se semelhantes entre os níveis de inclusão. O aumento da palma estendeu o tempo de alimentação por kg de FDNcp ( $P = 0,01$ ) em 0,298 min/kg FDNcp e reduziu a ingestão de água ( $P < 0,01$ ), diminuindo cerca de 0,26 L/dia para cada 1% adicional de palma. A diferença de peso corporal mostrou efeito quadrático ( $P = 0,05$ ) com ponto de peso máximo em 31,4% de palma, enquanto a produção e a composição do leite permaneceram semelhantes entre os tratamentos, com exceção do NUL que diminuiu com a inclusão de palma. Conclui-se que a palma forrageira pode ser incluída na ensilagem em níveis de até 60% da matéria natural da silagem com sorgo biomassa, sem comprometer os parâmetros da fermentação ruminal e o desempenho produtivo de vacas mestiças em lactação.

**Palavras-chave:** consumo, digestibilidade, desempenho, ruminantes, BRS 716.

## GENERAL ABSTRACT

OLIVEIRA, Pedro Henrique Alves de. **Mixed silage of forage cactus and biomass sorghum in the feeding of crossbred lactating cows.** 2025. p. Dissertation (Master's in Animal Science) - State University of Montes Claros, Janaúba-MG. Brazil.<sup>2</sup>

Forage cactus stands out as a feeding strategy for ruminants in semiarid regions due to its high water content, adaptability to arid environments, and favorable nutritional composition. However, its exclusive use is limited by its low effective fiber and crude protein content. Ensiling with fibrous forages, such as biomass sorghum, emerges as a viable alternative to maximize its use in diets for dairy cow. The study aimed to identify the best proportion of forage cactus in silage with biomass sorghum BRS 716 for crossbred cows, evaluating the silage's nutritional quality, nutrient intake and digestibility, ingestive behavior, nitrogen balance, microbial synthesis, ruminal fermentation, and milk production and composition. The experiment was carried out at Experimental Farm of the Unimontes (Janaúba/MG), using 10 lactating cows (471.5 ± 52.8 kg) in a 5 × 5 simultaneous Latin square design, over 90 days. Five diets with increasing levels of inclusion of cactus (0%, 15%, 30%, 45%, and 60%) in silage with biomass sorghum (based on natural matter) were tested. The roughage:concentrate ratio of the diets was approximately 75:25. Data were subjected to analysis of variance and regression at 5% significance level. Increasing levels of cactus in the silage decreased intake ( $P = 0.01$ ) and digestibility ( $P < 0.05$ ) of NDFap, respectively, by 12.03 g/day and 2.14% for each additional 1% of inclusion of cactus in the silage. In contrast, there was increase in the intake ( $P < 0.05$ ) and digestibility ( $P = 0.01$ ) of non-fibrous carbohydrates (14.87 g/day and 0.0008% for each 1% of inclusion, respectively), besides reducing the intake of ether extract (0.67 g/day per percentage point). The lactic acid content increased ( $P = 0.05$ ) by 0.8 g/L for each 1% increase in cactus, while the other ruminal parameters and microbial production remained similar between the inclusion levels. The increase in cactus extended the feeding time per kg of NDFap ( $P = 0.01$ ) by 0.298 min/kg NDFap and reduced water intake ( $P < 0.01$ ), decreasing

---

<sup>2</sup> **Guidance Committe:** Prof. Vicente Ribeiro Rocha Júnior – Unimontes (Adviser); Prof. Flávio Pinto Monção – Unimontes; Prof. Dr. João Paulo Sampaio Rigueira – Unimontes; Dr. André Santos de Souza – Unimontes; Dr. Tadeu Silva de Oliveira – UENF.

approximately 0.26 L/day for each additional 1% of cactus. The difference in body weight showed a quadratic effect ( $P = 0.05$ ) with maximum weight point at 31.4% of cactus, while milk production and composition remained similar between treatments, with the exception of UNM, which decreased with cactus inclusion. It is concluded that cactus can be included in silage at levels of up to 60% of the natural matter of silage with biomass sorghum, without compromising ruminal fermentation parameters and the productive performance of crossbred lactating cows.

**Key words:** consumption, digestibility, performance, ruminants, BRS716.

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

Em regiões semiáridas, a produção de volumosos para ruminantes é limitada pela escassez de água, pela irregularidade das chuvas e pelas altas temperaturas (REGO *et al.*, 2014; ANDRADE *et al.*, 2020). A estação chuvosa, além de breve, é mal distribuída, enquanto a estação seca é marcada por longos períodos de estiagem (LIMA *et al.*, 2018). Durante o período chuvoso, há maior disponibilidade de forragem com qualidade nutricional satisfatória, porém, na seca, observa-se uma drástica queda na oferta e no valor nutritivo das pastagens, o que exige a adoção de estratégias de conservação de alimentos (LE MOS *et al.*, 2023). Dentre essas estratégias, a silagem se destaca como uma das mais eficazes para preservar o excedente forrageiro produzido na época chuvosa (JESUS *et al.*, 2022), sendo fundamental buscar espécies adaptadas às condições do semiárido para uso nesse processo.

O sorgo biomassa BRS 716 é uma das forrageiras que se sobressaem nesse contexto, por apresentar elevada produtividade de matéria seca, rusticidade e boa tolerância à seca (Borghi *et al.*, 2020). Sua composição rica em fibra em detergente neutro (FDN) favorece sua inclusão em dietas para ruminantes. No entanto, silagens produzidas exclusivamente com sorgo biomassa tendem a apresentar fermentação limitada, em razão do menor teor de carboidratos solúveis em relação aos genótipos de sorgo forrageiro, o que compromete a estabilidade e o valor nutritivo do material conservado (ALENCAR *et al.*, 2023). Essa limitação estimula o uso combinado com outras forrageiras que melhorem a fermentação e o perfil nutricional da silagem.

A palma forrageira, por sua vez, é altamente adaptada ao ambiente semiárido, com grande resistência à seca, elevada capacidade de armazenamento de água nos cladódios e manutenção da suculência durante os períodos mais críticos do ano (REGO *et al.*, 2014). Além disso, destaca-se por seu alto teor de carboidratos não fibrosos, excelente palatabilidade e boa digestibilidade. O uso estratégico da palma contribui não apenas para a segurança alimentar dos rebanhos, mas também para a sustentabilidade dos sistemas produtivos em regiões com restrição hídrica. Apesar de seu valor nutricional, a palma possui baixo teor de fibra efetiva e proteína bruta, sendo inadequada como única fonte alimentar. Ainda que seu uso *in natura* seja comum,

poucos estudos têm investigado a viabilidade e os benefícios da sua conservação na forma de silagem, especialmente em combinação com outras forragens (ALENCAR *et al.*, 2023).

Dessa forma, a ensilagem mista de sorgo biomassa com palma forrageira surge como uma alternativa promissora, reunindo a estrutura fibrosa do sorgo com o alto teor de carboidratos solúveis da palma, favorecendo uma fermentação mais eficiente e promovendo melhor valor nutricional da silagem. Assim, este estudo teve como objetivo avaliar o efeito da inclusão da palma forrageira na ensilagem com sorgo biomassa BRS 716 sobre o desempenho de vacas  $\frac{3}{4}$  Holandês  $\times$  Zebu em lactação, considerando os impactos na qualidade da silagem, no consumo e digestibilidade dos nutrientes, no balanço de nitrogênio, na síntese microbiana, no comportamento ingestivo, bem como na produção e composição do leite.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Característica do sorgo biomassa BRS 716**

O sorgo biomassa BRS 716, desenvolvido pela Embrapa Milho e Sorgo, representa uma alternativa forrageira estratégica para regiões com restrição hídrica, especialmente o semiárido brasileiro, onde a produção de volumosos é frequentemente limitada por longos períodos de estiagem e solos de baixa fertilidade (EMBRAPA, 2020). Trata-se de uma cultivar adaptada ao corte e ao uso para produção de silagem, com ciclo vegetativo longo e elevada capacidade de rebrote, o que possibilita mais de um corte, aumentando a eficiência produtiva e a oferta de forragem (SOUZA *et al.*, 2023; SOUZA *et al.*, 2024).

Entre os principais atributos agronômicos da cultivar, destacam-se o elevado porte podendo atingir até 6 metros de altura, e a expressiva produção de matéria verde, que pode ultrapassar 100 t/ha, com produtividade de matéria seca superior a 30 t/ha, mesmo sob déficit hídrico. Esse desempenho é atribuído ao sistema radicular profundo e ao uso eficiente da água, características que conferem à planta maior resiliência em ambientes com baixa disponibilidade hídrica (EMBRAPA, 2020).



Adicionalmente, o BRS 716 apresenta boa sanidade foliar, elevada tolerância ao acamamento e alto perfilhamento, atributos importantes para manter estabilidade de produção em sistemas forrageiros de múltiplos cortes (OLIVEIRA *et al.*, 2023).

Quando comparado a outras cultivares de sorgo forrageiro, o BRS 716 se destaca pela sua elevada produção de biomassa, menor exigência hídrica e adaptabilidade a diferentes sistemas de manejo, sendo competitivo frente ao milho em sistemas de produção animal de baixa tecnologia, especialmente em áreas sem irrigação (BORGHI *et al.*, 2020; EMBRAPA, 2020). Sua rusticidade, aliada à elevada produtividade e versatilidade, tem incentivado seu uso crescente em sistemas de produção de ruminantes no semiárido, principalmente quando associado a fontes complementares de nutrientes, como a palma forrageira ou suplementos proteicos (QUEIROZ *et al.*, 2022; ALENCAR *et al.*, 2023).

Sob o aspecto nutricional, o sorgo biomassa apresenta moderado teor de fibra e, geralmente, níveis de proteína bruta inferiores aos do milho. No entanto, a utilização da silagem dessa cultivar em associação com outras fontes forrageiras ou concentrados de maior valor nutricional tem sido uma estratégia eficaz para melhorar o balanço de nutrientes e a digestibilidade das dietas (QUEIROZC *et al.*, 2022; ALENCAR *et al.*, 2023). Vale destacar que silagens de sorgo biomassa podem apresentar fermentação de baixa qualidade, devido ao seu baixo teor de carboidratos solúveis e alta umidade na colheita, o que compromete a estabilidade e o valor nutricional do material conservado (ALENCAR *et al.*, 2023). Assim, surge a necessidade de associar o sorgo a outras forrageiras que favoreçam a fermentação e melhorem a composição da silagem.

Dessa forma, o sorgo biomassa BRS 716 configura-se como uma ferramenta valiosa para a sustentabilidade da produção forrageira em regiões semiáridas, contribuindo para a manutenção da produtividade animal mesmo em condições edafoclimáticas adversas.

## **2.2 Características nutricionais da palma forrageira**

A mucilagem da palma é uma mistura complexa de substâncias, incluindo polissacarídeos, proteínas, ácidos orgânicos e minerais. Os polissacarídeos

desempenham um papel importante, conferindo propriedades viscosas e gelatinosas, associadas a uma expressiva capacidade de retenção de água. Essa composição abrange diversos carboidratos complexos, como L-arabinose (35-40%), D-galactose (20-25%), D-xilose (20-25%), D-glicose, L-ramnose (7-8%) e ácido urônico (7-8%). Os polissacarídeos na mucilagem resultam em duas frações hidrossolúveis distintas: uma rica em pectina, com textura gelatinosa, e outra mais hidrofílica, sem gelificação. Essa complexidade estrutural confere versatilidade à mucilagem da palma, permitindo diversas aplicações, desde alimentação até a produção de cosméticos (GONZÁLEZ *et al.*, 2014; MACEDO *et al.*, 2017).

Em média, a mucilagem representa cerca de 14% da matéria seca dos cladódios, consistindo em polímeros mucilaginosos, como cadeias de ácido  $\beta$ -D galacturônico (1-4) ligadas a resíduos de L-ramnose (1-2). Essa substância, presente no fluido viscoso dos cladódios, desempenha um papel crucial na regulação do teor de água celular durante períodos de seca prolongada e no controle dos fluxos de cálcio na planta (GINESTRA *et al.*, 2009). Grande parte da água presente na palma está associada à mucilagem, que possui propriedades osmóticas que absorvem fluidos, reduzindo a disponibilidade hídrica e a proliferação de microrganismos deteriorantes (CORDEIRO *et al.*, 2023).

Todavia, o alto teor de cálcio presente é limitado pela forma pouco biodisponível dos cristais de oxalato de cálcio, presentes em todos os tecidos da planta que podem influenciar a biodisponibilidade do cálcio, especialmente durante a maturação. A estimativa do cálcio é de 18 a 57 mg/100 g de peso seco. O parênquima da polpa, derivado do clorênquima ou núcleo central, contém amido e cristais de oxalato de cálcio associados. Ao analisar teores de açúcares Ginestra *et al.* (2009) verificaram uma prevalência de glicose e ácido galacturônico, com quantidades menores de arabinose, galactose, manose, xilose e *rhamnose* e traços de frutose.

Além disso, foi encontrada pectina, que pode ser explorada como fonte potencial de alimentos funcionais prebióticos. A porcentagem de diferentes açúcares monoméricos nos cladódios inteiros, incluindo ácido galacturônico, glicose, arabinose e galactose, foi de 24%, 41%, 13% e 9%, respectivamente. Os cladódios de *O. ícus indica* são uma rica fonte de fitoquímicos, incluindo fenólicos e flavonoides. Os flavonoides predominantes são um glicosil-rhamnosil-rhamnosídeo de isorhamnetina

(F5) e uma mistura de dois flavonoides, um glicosil-rhamnosil-(xilósídeo ou arabinosídeo) de isorhamnetina (F6) e um segundo isômero de rhamnosil-rhamnosídeo de isorhamnetina (F7). Esses compostos são conhecidos por serem reguladores fisiológicos internos em plantas. A composição dos cladódios de palma geralmente tem grande influência do ambiente (temperatura e disponibilidade hídrica) (GINESTRA *et al.*, 2009).

A *Opuntia ficus indicos* apresenta elevados níveis de carboidratos solúveis e uma baixa concentração de proteína. Em média, apresenta 11,27% de matéria seca (MS), 4,08% de proteína bruta (PB), 55,48% de carboidratos não fibrosos (CNF), 23,46% de fibra em detergente neutro (FDN), 14,13% de fibra em detergente ácido (FDA), 64,71% de nutrientes digestíveis totais (NDT), 2,61% de extrato etéreo (EE), 0,22% de fósforo (P), 3,84% de cálcio (Ca), e 0,81% de magnésio (Mg) (VALADARES FILHO *et al.*, 2000).

### **2.3 Ensilagem da palma forrageira**

A ensilagem é uma prática importante para a conservação e armazenamento de forragens, visando a alimentação eficiente do rebanho, especialmente em períodos de escassez alimentar (OLIVEIRA *et al.*, 2023). Esse método anaeróbico de fermentação envolve microrganismos que utilizam como substrato os carboidratos solúveis, o que resulta em ácidos orgânicos, como ácido acético, ácido lático, ácido propiônico e ácido butírico (AGVs) (KUNG *et al.*, 2018).

Para que ocorra a fermentação de forma adequada no silo, alguns parâmetros (teor de matéria seca, carboidratos solúveis e capacidade tampão) devem ser atendidos pelas forragens no momento da ensilagem (KUNG *et al.*, 2018). Silagens com baixo teor de matéria seca são suscetíveis a clostrídios devido à disponibilidade de água metabólica; enquanto silagens com alto teor de MS enfrentam rápida deterioração ao ar, devido à menor presença de ácido acético antifúngico, tornando-as vulneráveis à contaminação (KUNG *et al.*, 2018).

Vários fatores influenciam o pH final da silagem, sendo a concentração de ácido lático e a capacidade tampão da cultura os principais. O ácido lático, com seu poder de redução de pH, estabiliza a fermentação inibindo microrganismos intolerantes a

ambientes ácidos. Em contrapartida, uma alta capacidade tampão, relacionada a teores elevados de proteínas e cinzas, ou a uma fermentação restrita em climas frios, pode resultar em pH final mais alto. Essa capacidade tampão, resistente a alterações de pH, pode contrabalançar os efeitos acidificantes do ácido láctico, impactando a eficácia da conservação da silagem (KUNG *et al.*, 2018).

A palma forrageira possui baixo teor de matéria seca, mas seus cladódios, ricos em carboidratos solúveis e água, oferecem valiosa fonte de energia, especialmente em áreas com escassez hídrica. Combinar a palma com forragens adicionais e aditivos de alta matéria seca pode melhorar a fermentação, valor nutricional e reduzir perdas. Estratégias podem otimizar o potencial da palma como recurso alimentar, apesar de suas limitações (RODRIGUES *et al.*, 2016; BRITO *et al.*, 2020). A inclusão da palma forrageira em silagens mistas representa uma estratégia promissora para melhorar o perfil fermentativo da silagem, devido ao seu elevado teor de carboidratos não fibrosos. Esses carboidratos de rápida fermentação servem como substrato para a atividade microbiana durante o processo de ensilagem. Isso favorece a produção de ácidos orgânicos, especialmente o ácido láctico, o que contribui para a rápida queda do pH e maior estabilidade da silagem (ALENCAR *et al.*, 2023; OLIVEIRA *et al.*, 2023).

A produção de silagens mistas diversifica e aumenta a disponibilidade de forragem, contribuindo para a produtividade e sustentabilidade dos sistemas pecuários nessas áreas desafiadoras (OLIVEIRA *et al.*, 2023). Alencar *et al.* (2023) compararam algumas silagens, incluindo sorgo forrageiro Volumax, sorgo biomassa BRS 716, capim-BRS capiaçu e duas misturas com palma (40%palma 60% sorgo biomassa ou capiaçu). A silagem de sorgo biomassa BRS 716 com palma apresentou maiores níveis de ácido láctico e ácido acético, com aumento de 49,96% em relação à silagem de Volumax. A silagem de capim-BRS capiaçu com palma teve menor teor de matéria seca, maior teor de cinzas e menor teor de nutrientes digestíveis totais. A inclusão de palma na ensilagem com sorgo biomassa BRS 716 resultou em menor perda, maior recuperação de matéria seca e maior valor nutricional, evidenciando benefícios dessa combinação.

Cordeiro *et al.* (2023) investigaram os efeitos da inclusão de palma forrageira em silagens de sorgo biomassa e capim-BRS capiaçu nas dietas de novilhas cruzadas Holandês × Zebu. Dietas com capim-BRS capiaçu e capim com palma resultaram em

menor ingestão de matéria seca em comparação à silagem de sorgo Volumax. A inclusão de palma aumentou a digestibilidade da proteína, a ingestão de carboidratos não fibrosos e diminuiu a ingestão de extrato etéreo e fibra em detergente neutro. As novilhas alimentadas com sorgo biomassa com palma apresentaram menor consumo de fibra insolúvel em detergente neutro indigestível (FDNi) e maior digestibilidade de matéria seca e FDN.

A adição de até 10% de palma forrageira na ensilagem de sorgo resulta em aumentos lineares na digestibilidade *in vitro*, nos nutrientes digestíveis totais, no pH, no nitrogênio amoniacal, no ácido acético e no ácido butírico. No entanto, a partir de 20% de inclusão a presença de palma forrageira teve um efeito quadrático negativo sobre teores de MS, EE, FDN, FDA e celulose das silagens. Importante destacar que a inclusão não impactou as perdas por gases, efluentes e recuperação de MS na silagem (OLIVEIRA *et al.*, 2023). No que diz respeito aos ácidos orgânicos, as concentrações de ácido láctico em silagens geralmente variam de 2 a 4% da MS. Entretanto, é notável que em silagens com baixas concentrações de MS (<25%), esses níveis podem ser consideravelmente mais elevados. Essa variação destaca a importância de se monitorar e ajustar os teores de MS para otimizar as condições de conservação durante o processo de ensilagem, visando assegurar a qualidade e a durabilidade do material armazenado (KUNG *et al.*, 2018).

Silagens mistas, compostas por palma forrageira (*Opuntia*) e leguminosas como *Grewia flava* e *Leucaena leucocephala*, na proporção de 60:40, revelaram benefícios significativos para ruminantes, atendendo às suas exigências nutricionais. A silagem com *G. flava* apresentou pH inferior a 4,8, indicando alta qualidade. O teor de carboidratos solúveis na silagem de palma com *G. flava* ficou na faixa de 8-12 g/kg de matéria seca, propiciando uma fermentação eficaz. Por outro lado, a produção elevada de CO<sub>2</sub> na silagem contendo apenas palma mostra uma baixa estabilidade aeróbica (MATLABE *et al.*, 2022).

Mantendo o teor de umidade na faixa adequada, cria-se um ambiente propício para a atividade microbiana essencial na fermentação. A baixa capacidade tampão é crucial para evitar flutuações extremas no pH, promovendo, assim, um ambiente estável e favorável ao processo fermentativo. O teor específico de açúcares solúveis contribui para a disponibilidade de substratos necessários à multiplicação dos

microrganismos responsáveis pela fermentação desejada (KUNG *et al.*, 2018).

Silagens de ração total contendo palma forrageira, em associação com *Gliricidia sepium* e *Senna obtusifolia*, destacam-se por apresentar uma fermentação eficiente e valor nutricional significativo. Essas silagens demonstram valores de pH dentro da faixa ideal (4,2 a 4,4) e teores de NH<sub>3</sub>-N variando de 2,21 a 0,85%. As contagens de bactérias lácticas variaram de 5,0 a 6,3 log UFC/g, com uma média de fungos de 3,3 log UFC/g. A presença de leveduras é observada apenas na silagem com *Gliricidia sepium*, atingindo 5log UFC/g. Além disso, destaca-se que a estabilidade aeróbia foi mais elevada nas silagens contendo *Gliricidia sepium* seguida da silagem contendo *Senna obtusifolia* (RODRIGUES *et al.*, 2023).

A substituição do farelo de sorgo por palma forrageira, associada à palhada de milho (PM) ou capim-elefante (CE), na dieta de bovinos, resulta em aumentos nos teores de nutrientes como NDT, PB, MM, EE e CNF, além de reduções nos teores de MS, FDN<sub>cp</sub>, LIG, FDN<sub>i</sub> e CHO<sub>tot</sub>. Contudo, foram observadas maiores perdas e menores recuperações de MS na dieta com PM, especialmente nos níveis de 33% e 66% de substituição. Já na dieta com CE, os níveis de substituição exibiram comportamento quadrático, alcançando a menor perda de MS com 11,45% de substituição. Cada 1% de substituição do farelo de sorgo pela palma forrageira na dieta com PM resultou em um decréscimo de 0,061g na recuperação de MS. Na dieta com CE, os níveis de substituição também mostraram comportamento quadrático, atingindo o ponto máximo de 38,5% de substituição, com 90% de recuperação de MS. Assim, a palma forrageira pode substituir eficientemente de 35 a 55% do farelo de sorgo em silagens de dieta completa, quando associada à PM ou CE (JESUS *et al.*, 2022).

A inclusão da palma (*Opuntia ficus indica*) na ensilagem com palha de milho sobre o desempenho de cordeiros machos resultou em aumento da quantidade de matéria seca, nitrogênio, do fluxo de proteína microbiana no intestino, melhorando a disponibilidade de aminoácidos essenciais para a manutenção, crescimento e produção.

Cordeiros alimentados com silagem contendo 15% de palma apresentaram melhor peso final e ganho de peso diário, resultando nos maiores valores de proteína microbiana (18,31%). A inclusão de 30% de palma mostrou menor coeficiente de digestão FDN (59,65%), menor teor de NDT (55,81%) e menor proteína bruta digestível

(8,04%) (ELSHEIKH *et al.*, 2023).

A substituição de 42% de feno de tifton por silagem de palma, composta por palma forrageira, fubá de milho, farelo de soja, farelo de trigo e suplemento mineral, gerou benefícios para a carne de cordeiros mestiços. Houve aumento na área de olho de lombo, impacto positivo no peso da carcaça dos cortes comerciais, redução nos parâmetros de cor da carne e pH em 0 e 24 horas, além de alterações na composição de alguns ácidos graxos saturados. Os animais que não receberam silagem de palma apresentaram menor desenvolvimento muscular (SOUZA *et al.*, 2020). A inclusão de palma forrageira em silagens combinadas com forrageiras como capim-buffel, gliricídia e pornunça possibilita ganhos de peso acima de 200 g/dia. Isso demonstra eficácia em dietas para cordeiros confinados, alcançando ganhos comparáveis ou superiores aos obtidos com dietas à base de milho (SILVA *et al.*, 2023).

A substituição da silagem de milho pela silagem mista de alfafa-palma (34% e 66% da MS, respectivamente) na dieta de cabras leiteiras aumentou significativamente o ácido propiônico ruminal, atingindo um pico de 22,5 (mol/100 mol), enquanto reduziu a relação acetato: propionato. A inclusão de 30% dessa mistura elevou o teor de proteína do leite (3,83%) e reduziu as células somáticas do leite para 4,72 (105 células/ml). Além disso, a presença da palma na dieta diminuiu as concentrações de ácido butírico (C4:0) e provocou alterações significativas no ácido margárico (C17:0) presente na gordura do leite (RAVARI *et al.*, 2022).

## **2.4 Limitações do uso da palma forrageira**

A palma, embora considerada uma fonte volumosa, apresenta limitações devido ao baixo teor de matéria seca e nutrientes (RODRIGUES *et al.*, 2016; BRITO *et al.*, 2020). A elevada concentração de água na palma pode ser um fator limitante se usada indiscriminadamente, impactando negativamente na porcentagem de matéria seca da silagem, fator crucial na avaliação, pois reflete a qualidade dos nutrientes potencialmente digestíveis (OLIVEIRA *et al.*, 2023).

Silagens com baixo teor de matéria seca são propensas a clostrídios em decorrência da disponibilidade de água metabólica, reduzindo a pressão osmótica e permitindo a atividade do *Clostridium* produtor de butirato em silagens com alta

inclusão de palma (OLIVEIRA *et al.*, 2023). Por outro lado, silagens com alto teor de matéria seca deterioram-se rapidamente ao ar por causa da menor presença de ácido acético, antifúngico, tornando-as suscetíveis à contaminação (KUNG *et al.*, 2018).

A partir de 20% de inclusão da palma, observam-se aumentos lineares nos valores de pH, nitrogênio amoniacal, ácido acético e ácido butírico, indicando limitações. A presença de palma forrageira tem um efeito quadrático negativo nos teores de matéria seca, extrato etéreo, fibra em detergente neutro, fibra em detergente ácido e celulose na silagem de sorgo (OLIVEIRA *et al.*, 2023). Silagens com baixos teores de matéria seca (<25%) apresentam níveis mais elevados de ácidos orgânicos, destacando-se a importância do monitoramento e ajuste dos teores de matéria seca para garantir a qualidade da ensilagem (KUNG *et al.*, 2018).

A quantidade de carboidratos solúveis é outro fator limitante, pois, embora impulse a fermentação, um excesso desses nutrientes pode ocasionar fermentação alcoólica, causando perdas significativas durante o processo de ensilagem (KUNG *et al.*, 2018).

O uso excessivo de palma, seja em grandes proporções ou isoladamente, pode causar distúrbios nutricionais em animais ruminantes, levando a diarreias em decorrência da insuficiente concentração de fibra para manter as condições adequadas das funções ruminais (RODRIGUES *et al.*, 2016). A substituição total do milho pela palma na dieta de cabras leiteiras também foi associada a distúrbios nutricionais e redução no desempenho animal (ALMEIDA *et al.*, 2015).

O baixo teor de proteína bruta na palma pode limitar a capacidade de atender às necessidades nutricionais dos animais, exigindo complementação com outras fontes de nutrientes. A escolha do volumoso a ser associado à palma deve considerar o equilíbrio entre carboidratos não fibrosos, fibrosos e teor de Matéria seca. Recomenda-se fornecer a palma em consórcio com alimentos fibrosos para evitar efeitos indesejáveis na digestão, sendo crucial determinar os níveis de inclusão da palma forrageira, especialmente em associação com alimentos fibrosos, ao produzir silagem (OLIVEIRA *et al.*, 2023).

Apesar das vantagens nutricionais da palma forrageira e da sua elevada adaptabilidade ao clima semiárido, sua utilização *in natura* apresenta limitações operacionais, principalmente relacionadas à elevada demanda por mão de obra. O



processo de corte, transporte e fornecimento diário é intensivo e pode se tornar inviável em sistemas com disponibilidade reduzida de trabalhadores, especialmente quando se busca escala produtiva (Marques *et al.*, 2017; FROTA *et al.*, 2015). Além disso, a presença de espinhos em algumas variedades exige cuidados no manejo, o que pode comprometer a segurança dos operários e aumentar o tempo de trabalho. Nesse sentido, a utilização da palma na forma de silagem tem se mostrado uma alternativa eficiente, ao permitir a realização do corte e do armazenamento em períodos específicos, concentrando o uso da mão de obra em etapas pontuais do processo produtivo (ALENCAR *et al.*, 2023). Essa prática não só facilita a logística do fornecimento diário, como também melhora a conservação dos nutrientes e a regularidade da oferta alimentar ao longo do ano, especialmente durante períodos críticos de escassez de forragem (QUEIROZ *et al.*, 2023; OLIVEIRA *et al.*, 2023).

## REFERÊNCIAS

- Alencar, A. M. S.; Rocha Júnior, V. R.; Monção, F. P.; Cordeiro, M. W. S.; Santos, A. S. dos; Caldeira, L. A. ; Oliveira, L. I. S.; Ananias, J. V. A. ; Costa, M. D. da C.; Souza, A. S.; Aspiazú, I.; Santos, L. C. S. Quality of mixed silages of sorghum, BRS Capiacu grass, and cactus pear in a semiarid region of Brazil. *Journal of Applied Animal Research*, v. 51, n. 719-728, 2023. <https://doi.org/10.1080/09712119.2023.2277256>
- Almeida, G. A. P. D.; Campos, J. M. D. S.; Ferreira, M. D. A.; Correia, A. L. V.; Andrade, A. P. D. Palma (*Opuntia ficus indica* Mill) cv. Gigante em suplementos para fêmeas leiteiras em crescimento a pasto. *Revista Caatinga*, v. 28, p. 161–171, 2015. Disponível em: [https://periodicos.ufersa.edu.br/index.php/caatinga/article/view/3844/pdf\\_258](https://periodicos.ufersa.edu.br/index.php/caatinga/article/view/3844/pdf_258)
- Andrade, A. P. D.; Silva, D. S. D.; Bruno, R. D. L. A.; Silva, D. L. S. D.; Junior, J. L. D. A. M.; Magalhães, A. L. R.; Melo, L. D. F. D. A.; Medeiros, A. N. D. Temporal rainfall variability as inductor of the phenology of Brazilian semiarid species. *Australian Journal of Crop Science*, v. 14, n. 2, p. 299–307, 2020. <https://doi.org/10.21475/AJCS.20.14.02.p2312>
- Borghi, E.; Silva, G. F. da; Calonego, J. C.; Parrela, R. A. da C.; Antonio, M. S. Sorgo Biomassa BRS 716 para Produção de forragem e palha em sistema de plantio direto e

preparo convencional. Boletim de pesquisa e desenvolvimento 216. Embrapa milho e sorgo. 2020 Disponível em:

<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1126603/1/Bol-216.pdf>

Brito, G. S. M. Da S.; Santos, E. M.; Araújo, G. G. L.; Oliveira, J. S.; Zanine, A. De M.; Perazzo, A. F.; Campos, F. S.; Oliveira Lima, A. G. V.; Cavalcanti, H. S. Mixed silages of cactus pear and gliricidia: chemical composition, fermentation characteristics, microbial population and aerobic stability. Scientific Reports, v. 10, 6834, 2020.

<https://doi.org/10.1038/s41598-020-63905-9>

Broderick, G. A. Effects of varying dietary protein and energy levels on the production of lactating dairy cows. Journal of Dairy Science, v. 86, p. 1370–1381, 2003.

[https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73721-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73721-7)

Burger, P. J.; Pereira, J. C.; Queiroz, A. C. D.; Coelho Da Silva, J. F.; Valadares Filho, S. D. C.; Cecon, P. R.; Casali, A. D. P. Comportamento ingestivo em bezerros holandeses alimentados com dietas contendo diferentes níveis de concentrado. Revista Brasileira de Zootecnia, v. 29, p. 236–242, 2000.

<https://doi.org/10.1590/S1516-35982000000100031>

Chizzotti, M. L.; Valadares Filho, S. D. C.; Valadares, R. F. D.; Chizzotti, F. H. M.; Marcondes, M. I.; Fonseca, M. A. Consumo, digestibilidade e excreção de uréia e derivados de purinas em vacas de diferentes níveis de produção de leite. Revista Brasileira de Zootecnia, v. 36, p. 138–146, 2007.

<https://doi.org/10.1590/S1516-35982007000100017>

Cordeiro, M. W. S.; Rocha Júnior, V. R.; Monção, F. P.; Palma, M. N. N.; Rigueira, J. P. S.; Carvalho, C. Da C. S.; Costa, M. D.; D'angelo, M. F. S. V.; Costa, N. M.; Oliveira, L. I. S. Tropical grass silages with spineless cactus in diets of Holstein × Zebu heifers in the semiarid region of Brazil. Tropical Animal Health and Production, v. 55, 89, 2023.

<https://doi.org/10.1007/s11250-023-03506-6>

Costa, C. T. F.; Ferreira, M. A.; Campos, J. M. S.; Guim, A.; Silva, J. L.; Siqueira, M. C. B.; Barros, L. J. A.; Siqueira, T. D. Q. Intake, total and partial digestibility of nutrients, and ruminal kinetics in crossbreed steers fed with multiple supplements containing spineless cactus enriched with urea. Livestock Science, v. 188, p. 55–60, 2016.

<https://doi.org/10.1016/j.livsci.2016.04.008>

Council, N. R. Nutrient Requirements of Dairy Cattle: Seventh Revised Edition, 2001. National Academies Press, 2001. <https://doi.org/10.17226/9825>

Detmann, E.; Silva, L. F. C.; Rocha, G. C.; Palma, M. N. N.; Rodrigues, J. P. P. Métodos para análise de alimentos: INCT – Ciência Animal. 2. ed. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2021. 350 p.

<https://jacad.uniguacu.com.br/academico/biblioteca/acervo/detalhes/39162>

Elsheikh, H. A.; Abo-Donia, F.M.; Nayel, U. A. The impact of substituting corn silage with cactus cladodes silage on growth performance and digestibility in sheep rations. Journal of Animal and Poultry Production, v. 14, n. 1, p. 83–89, 2023. <https://doi.org/10.21608/jappmu.2023.229940.1086>

EMBRAPA. Sorgo BRS 716 possui elevado potencial para a geração de energia. Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/54697672/sorgo-brs-716-possui-elevado-potencial-para-a-geracao-de-energia>. Acesso em: 21 jul. 2025.

Fergusson, F.; Green, D. T.; Norman, T. Principal descriptors of body condition score in Holstein cows. Journal of Dairy Science, v. 77, p. 1–9, 1994. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(94\)77212-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(94)77212-X)

Frota, M. N. L da; Carneiro, M. S. de S.; Carvalho, G. M. C.; Araújo Neto, R. B de. Palma forrageira na alimentação animal. Documentos 233. Embrapa Meio-Norte. 2015. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1037123/1/Doc233.pdf>

Ginestra, G.; Parker, M. L.; Bennett, R. N.; Robertson, J.; Mandalari, G.; Narbad, A.; Lo Curto, R. B.; Bisignano, G.; Faulds, C. B.; Waldron, K. W. Anatomical, chemical, and biochemical characterization of cladodes from prickly pear [Opuntia ficus-indica (L.) Mill.]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, v. 57, n. 21, p. 10323–10330, 2009. <https://doi.org/10.1021/jf9022096>

González, S.; Martínez-Flores, H. E.; Chávez-Moreno, C. K.; Macías-Rodríguez, L. I.; Zavala-Mendoza, E.; Garnica-Romo, M. G.; Chacón-García, L. Extraction and characterization of mucilage from wild species of Opuntia. Journal of Food Process Engineering, v. 37, p. 285–292, 2014. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12084>

Jesus, F. M. De; Teixeira, F. A.; Jardim, R. R.; Santos, J. P. Dos; Filho, J. R. Dos S.; Nascimento, A. A.; Vieira, T. M.; Silva, H. S. Da; Silva, S. N. Da; Porto, E. M. V. Silagem de palma forrageira em dieta completa. *Research, Society and Development*, v. 11, e41911932027, 2022. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i9.32027>

Kung, L.; Shaver, R. D.; Grant, R. J.; Schmidt, R. J. Silage review: interpretation of chemical, microbial, and organoleptic components of silages. *Journal of Dairy Science*, v. 101, n. 5, p. 4020–4033, 2018. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13909>

Lemos, B. V.; Carneiro, M. C.; Albuquerque, A. L. S.; Silva, J. C. S. Composição química bromatológica da palma miúda adensada utilizando dois tipos de adubação orgânica. *Diversitas Journal*, v. 8, n. 3, p. 2935–2948, 2023. <https://doi.org/10.48017/dj.v8i3.2660>

Lima, C. R. D.; Bruno, R. D. L. A.; Andrade, A. P. D.; Pacheco, M. V.; Quirino, Z. G. M.; Silva, K. D. R. G. D.; Belarmino, K. D. S. Fenologia de *Poincianella pyramidalis* (Tul.) L. P. Queiroz e sua relação com a distribuição temporal da precipitação pluvial no semiárido brasileiro. *Ciência Florestal*, v. 28, n. 3, p. 1035–1048, 2018. <https://doi.org/10.5902/1980509833387>

Macedo, A. J. Da S.; Santos, E. M.; Oliveira, J. S. De; Perazzo, A. F. Produção de silagem na forma de ração a base de palma: revisão de literatura. *Revista Eletrônica de Veterinária*, v. 18, n. 9, p. 1–11, 2017. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/636/63653009021.pdf>

Marques, O. F. C.; Gomes, L. S. de P.; Mourthé, M. H. F.; Braz, T. G. dos S.; Pires Neto, O. de S. palma forrageira: cultivo e utilização na alimentação de bovinos. *Caderno de ciências agrárias*. v.9, n.1, p.75-93. 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/39910/2/Palma%20forrageira%20-%20cultivo%20e%20utiliza%C3%A7%C3%A3o%20na%20alimenta%C3%A7%C3%A3o%20de%20bovinos.pdf>

Matlabe, G.; Mokoboki, H. K.; Sebola, A. N.; Lebopa, C. K.; Ravhuhali, K. E.; Hawu, O. Effects of browse legume species addition on nutritional composition, fermentation characteristics and aerobic stability of *Opuntia cladodes* silage. *South African Journal of Science*, v. 118, p. 1–6, 2022. <https://doi.org/10.17159/sajs.2022/12032>

Mezzalira, J. C.; Carvalho, P. C. D. F.; Fonseca, L.; Bremm, C.; Reffatti, M. V. P.; Oli, C. H. E. C.; Trindade, J. K. D. Aspectos metodológicos do comportamento ingestivo de

bovinos em pastejo. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 40, n. 5, p. 1114–1120, 2011. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982011000500024>

Oliveira, A. S.; Valadares, R. F. D.; Valadares Filho, S. D. C.; Cecon, P. R.; Oliveira, G. A. D.; Silva, R. M. N. D.; Costa, M. A. L. Consumo, digestibilidade aparente, produção e composição do leite em vacas alimentadas com quatro níveis de compostos nitrogenados não-protéicos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 30, p. 1358–1366, 2001. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982001000500032>

Oliveira, P. V. C. De; Araújo, T. L. A.; Campos, P. L. A.; Junior, D. M. De L.; Assis, L. C. Da S. L. C.; Firmino, S. S.; Pereira, M. W. F.; Lima, P. De O. Mixed sorghum and forage cactus silage: composition, digestibility, fermentation, and losses. *Revista Semina: Ciências Agrárias*, v. 44, p. 929–936, 2023. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2023v44n2p929>

Queiroz, F. E.; Rocha Júnior, V. R.; Monção, F. P.; Rigueira, J. P. S.; Silva, F. V.; Alencar, A. M. S.; Cordeiro, M. W. S.; Gomes, V. M.; Carvalho, C. C. S.; Costa, M. D. Effect of replacement of forage sorghum silage with biomass sorghum silage in diets for dairy heifers. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 43, p. 121–140, 2022. DOI: [10.5433/1679-0359.2022v43n1p121](https://doi.org/10.5433/1679-0359.2022v43n1p121)

Ravari, F. N.; Tahmasbi, R.; Dayani, O.; Khezri, A. Cactus-alfalfa blend silage as an alternative feedstuff for Saanen dairy goats: Effect on feed intake, milk yield and components, blood and rumen parameters. *Small Ruminant Research*, v. 216, 106811, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2022.106811>

Rego, M. M. T.; Lima, G. F. C.; Silva, J. G. M.; Guedes, F. X.; Dantas, F. D. G.; Lôbo, R. N. B. Morfologia e rendimento de biomassa da palma miúda irrigada sob doses de adubação orgânica e intensidades de corte. *Revista Científica de Produção Animal*, v. 16, p. 118–130, 2014. <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1029952>

Rodrigues, A. M.; Pitacas, F. I.; Reis, C. M. G.; Blasco, M. Nutritional value of *Opuntia ficus-indica* cladodes from Portuguese ecotypes. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, v. 22, n. 1, p. 40–45, 2016. <https://www.agrojournal.org/22/01-07.pdf>

Rodrigues, R.; Lopes, R.; Santos, F. N.; Santos, E. M.; Perazzo, A.; Zanine, A.; Silva, R.; Silva, E.; Olivera-Viciedo, D.; Rocha, M.; Teixeira, M.; Santos, A. M.; Veron, K.; Miranda, B. E.; Ferreira, D. Total mixed ration silages based on forage cactus and xerophile

legumes as alternatives for ruminants. *Agriculture*, v. 13, 1759, 2023. <https://doi.org/10.3390/agriculture13091759>

Silva, T. S.; Araújo, G. G. L.; Santos, E. M.; Oliveira, J. S.; Godoi, P. F. A.; Gois, G. C.; Perazzo, A. F.; Ribeiro, O. L.; Turco, S. H. N.; Campos, F. S. Intake, digestibility, nitrogen balance and performance in lamb fed spineless cactus silage associated with forages adapted to the semiarid environment. *Livestock Science*, v. 268, 105168, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2023.105168>

Sklan, D.; Ashkenazi, R.; Braun, A.; Devorin, A.; Tabori, K. Fatty acids, calcium soaps of fatty acids, and cottonseeds fed to high yielding cows. *Journal of Dairy Science*, v. 75, p. 2463–2472, 1992. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(92\)78008-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(92)78008-4)

Souza, A. F. Do N.; Araújo, G. G. L. De; Santos, E. M.; Azevedo, P. S. De; Oliveira, J. S.; Perazzo, A. F.; Pinho, R. M. A.; Zanine, A. De M. Carcass traits and meat quality of lambs fed with cactus (*Opuntia ficus-indica* Mill) silage and subjected to an intermittent water supply. *PLOS ONE*, v. 15, e0231191, 2020. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231191>

Souza, J. M. S. de; Behling Neto, A.; Rosa, M. A. B. da; Tardin, F. D.; Galati, R. L.; Chaves, C. S.; Pereira, D. H. Valor nutricional e fermentabilidade de silagens de sorgo cultivadas no bioma Amazônia. *Ciência da pastagem*. V.71, n.2, p.86-94. 2024. <https://doi.org/10.1111/grs.12440>

Souza J. F.; Rigueira, J. P. S.; Albuquerque, C. J. B.; Rocha Junior, V. R.; Santos, A. S. dos; Carvalho, C. da C. S.; Leal, D. B.; Mendes, B. M.; Parrella, R. A. da C. Silva, R. K. O. de J. Monção, F. P. Yield and nutritional value of silage of diferente sorghum hybrids inoculated with *Azospirillum brasilense*. *Journal of applied animal research*. V.51, n.1, p.424-433. 2023. <https://doi.org/10.1080/09712119.2023.2216760>

Valadares Filho, S. C.; Broderick, G. A.; Valadares, R. F. D.; Clayton, M. K. Effect of replacing alfalfa silage with high moisture corn on nutrient utilization and milk production. *Journal of Dairy Science*, v. 83, p. 106–114, 2000. DOI: [10.3168/jds.S0022-0302\(00\)74861-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(00)74861-2)

# **CAPÍTULO 1. Silagem mista de palma forrageira e sorgo biomassa na alimentação de vacas mestiças em lactação**

Pedro Henrique Alves de Oliveira<sup>a</sup>, Vicente Ribeiro Rocha Junior<sup>a</sup>, Flávio Pinto monção<sup>a</sup>, André Santos de Souza<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Departamento de Ciências Agrárias, Universidade Estadual de Montes Claros, Minas Gerais, Brasil

Normas da revista Brasileira de Zootecnia, exceto o idioma.

## **RESUMO**

O objetivo deste estudo foi avaliar a inclusão de palma forrageira na ensilagem com sorgo biomassa BRS 716 para alimentação de vacas mestiças em lactação, por meio da avaliação da qualidade nutricional das silagens, consumo e digestibilidade dos nutrientes, comportamento ingestivo, balanço de nitrogênio, síntese microbiana, fermentação ruminal, produção e composição do leite. O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental da Unimontes (Janaúba, MG), utilizando 10 vacas em lactação ( $471,5 \pm 52,8$  kg), distribuídas em dois quadrados latinos  $5 \times 5$  simultâneos, durante 90 dias. Foram avaliadas cinco dietas, contendo níveis crescentes de palma forrageira, 0%, 15%, 30%, 45% e 60% na silagem com sorgo biomassa. As dietas tinham relação volumoso:concentrado de aproximadamente 75:25. O aumento da inclusão de palma forrageira não influenciou o consumo de matéria seca ( $P=0,17$ ), mas reduziu o consumo de FDN em 12,03 g/dia e elevou o consumo de CNF em 14,87 g/dia para cada 1% de inclusão. A digestibilidade da FDN reduziu-se em 2,14 pontos percentuais, enquanto a da CNF aumentou. O balanço de nitrogênio e a síntese de proteína microbiana não foram alterados ( $P>0,05$ ). Houve alterações no comportamento ingestivo ( $P<0,05$ ), com destaque para o consumo de água, que diminuiu aproximadamente 0,26 L/dia a cada 1% de inclusão de palma. A produção e composição do leite não foram influenciadas pelas dietas. A inclusão de até 60% de palma forrageira na silagem com sorgo biomassa é viável para vacas mestiças, sem comprometer o desempenho produtivo e nutricional, sendo uma alternativa eficiente e adaptada às condições do semiárido.

**Palavras-chave:** consumo, desempenho animal, digestibilidade, parâmetros ruminais

### 31 3. Introdução

32

33 A escassez hídrica e a irregularidade das chuvas no semiárido brasileiro  
34 restringem a produção pecuária, principalmente pela baixa oferta de forragens de  
35 qualidade ao longo do ano. Nesse contexto, torna-se necessário adotar estratégias  
36 alimentares que associem adaptabilidade climática, disponibilidade regional e valor  
37 nutricional, promovendo a sustentabilidade dos sistemas produtivos (Oliveira *et al.*,  
38 2023).

39 O sorgo biomassa (*Sorghum bicolor* L.) destaca-se como alternativa promissora  
40 por sua rusticidade, elevada produção de matéria verde e boa adaptação  
41 edafoclimática. Apresenta alto teor de fibra em detergente neutro (FDN), cerca de  
42 59,84%, essencial para a manutenção da função ruminal e desempenho dos  
43 ruminantes (Ramos *et al.*, 2021; Queiroz *et al.*, 2022).

44 A palma forrageira (*Opuntia* spp.) é amplamente cultivada na região semiárida,  
45 devido à sua elevada eficiência no uso da água, tolerância à seca e composição  
46 nutricional favorável. Rica em carboidratos não fibrosos (59,98%) e nutrientes  
47 digestíveis (59,32%), pode substituir fontes energéticas convencionais, com a  
48 vantagem adicional de fornecer água aos animais, reduzindo a ingestão voluntária de  
49 água (Oliveira *et al.*, 2023; Silva *et al.*, 2023).

50 A combinação da palma forrageira e sorgo biomassa, na forma de silagem  
51 mista, representa uma estratégia eficaz para equilibrar energia e fibra nas dietas,  
52 melhorando o aproveitamento dos nutrientes. Essa associação reúne os benefícios  
53 fermentativos e nutricionais das duas espécies, permitindo a conservação do volumoso  
54 por meio da ensilagem. Além de garantir fornecimento contínuo de alimento, essa  
55 prática reduz significativamente a necessidade de corte e manejo diário da palma *in*  
56 *natura*, uma das principais limitações ao seu uso em larga escala. Com isso, há menor  
57 exigência de mão de obra e maior eficiência operacional dos sistemas produtivos  
58 (Wanderley *et al.*, 2012; Alencar *et al.*, 2023).

59 Apesar das vantagens desses ingredientes, há escassez de estudos que avaliem,  
60 de forma integrada, os efeitos da silagem mista sobre o desempenho produtivo,  
61 ingestivo e os parâmetros ruminais de vacas mestiças em lactação. Considerando as



62 restrições ambientais e a necessidade de soluções nutricionais viáveis e sustentáveis,  
63 torna-se relevante investigar os impactos da inclusão crescente de palma ensilada com  
64 o sorgo biomassa.

65 Diante disso, este estudo foi conduzido com a hipótese de que a inclusão  
66 crescente de palma forrageira em silagens mistas com sorgo biomassa melhora o  
67 aproveitamento dos nutrientes, favorece a fermentação ruminal, reduz o consumo de  
68 água e promove melhor desempenho produtivo e comportamento ingestivo de vacas  
69 leiteiras. O objetivo foi avaliar os efeitos dessa inclusão sobre consumo e  
70 digestibilidade dos nutrientes, síntese microbiana, parâmetros ruminais, produção e  
71 composição do leite e comportamento ingestivo de vacas  $\frac{3}{4}$  Holandês x Zebu em  
72 lactação.

#### 73 **4. Material e métodos**

74

75 A pesquisa foi conduzida de acordo com as diretrizes da Comissão de Ética em  
76 Experimentação e Bem-estar Animal – CEEBEA da Universidade Estadual de Montes  
77 Claros (Unimontes), sob protocolo número 007/2022, seguindo as normas  
78 estabelecidas para garantir o bem-estar dos animais e a conformidade com as  
79 diretrizes éticas.

##### 80 *Animais e Instalações*

81 O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental da Universidade  
82 Estadual de Montes Claros - Unimontes, localizada em Janaúba, Minas Gerais, Brasil  
83 (coordenadas geográficas 15° 43' 53" Sul, 43° 19' 40" Oeste) (Google Earth, 2025).

84 Foram utilizadas 10 vacas mestiças  $\frac{3}{4}$  Holandês x Zebu com aproximadamente  
85 80 dias de lactação, com peso inicial médio de 471,5kg  $\pm$  52,8 kg, alojadas  
86 individualmente em baias com dimensões de 1,60 x 3,10 metros. Cada baia foi  
87 equipada com um comedouro de concreto individual e um bebedouro automático. As  
88 baias estavam dispostas em um galpão coberto com telhas de barro do tipo colonial,  
89 com pé-direito de três metros.

##### 90 *Dietas Experimentais e Manejo*

91 Os tratamentos consistiram em diferentes níveis de inclusão de palma  
92 forrageira variedade IPA-Sertânea 20 (*Nopalea cochenillifera* L.) na ensilagem com o  
93 sorgo biomassa BRS 716 (*Sorghum bicolor* L.), com base na matéria natural. Foram  
94 testadas cinco dietas experimentais, como segue: Dieta 1 (0%) - silagem de sorgo  
95 biomassa BRS 716; Dieta 2 (15%)- silagem mista de sorgo biomassa BRS 716 com  
96 adição de palma forrageira na proporção de 85:15, respectivamente; Dieta 3 (30%) –  
97 silagem mista de sorgo biomassa BRS 716 com adição de palma na proporção de 70:30;  
98 Dieta 4 (45%) – silagem mista de sorgo biomassa BRS 716 com adição de palma na  
99 proporção de 55:45; Dieta 5 (60%) – silagem mista de sorgo biomassa BRS 716 com  
100 adição de palma na proporção de 40:60.

101 A formulação das dietas foi realizada conforme as recomendações do Nasem  
102 (2021) para vacas com peso corporal médio de 500 kg e produção de leite de 15 kg/dia  
103 com 3,5% de gordura. As dietas foram formuladas para serem isoproteicas, utilizando  
104 ureia para corrigir os teores de proteína bruta (PB) (Costa *et al.*, 2016). O mesmo  
105 concentrado foi utilizado em todos os tratamentos, com uma relação  
106 volumoso:concentrado de aproximadamente 75:25, com base na matéria seca. Os  
107 alimentos foram pesados individualmente e fornecidos duas vezes ao dia, às 8h e às  
108 14h, por meio de um sistema de dieta completa, misturados no momento do  
109 fornecimento e ajustados diariamente para manter sobras em torno de 5% da matéria  
110 seca fornecida.

111 Os animais foram ordenhados duas vezes ao dia, utilizando-se ordenha  
112 mecânica balde ao pé, na presença dos bezerros. Os horários de ordenha foram às 7h e  
113 às 15h.

#### 114 *Culturas e Ensilagem*

115 O sorgo biomassa BRS 716 foi cultivado e colhido na Fazenda Experimental da  
116 Unimontes aos 160 dias após a semeadura. O sorgo foi picado por meio de máquina  
117 forrageira JF-90, (JF Máquinas, Itapira, SP, Brasil), resultando em partículas com  
118 tamanho médio de 2 cm.

119 A palma forrageira foi doada pela Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas  
120 Gerais - EPAMIG, de Nova Porteirinha, Minas Gerais. Foi colhida dois anos após o

121 último corte, preservando seu "cladódio-mãe" e fatiada na forrageira MC1N  
122 (Laboremus, Ibiúna, SP, Brasil) com partículas de 2 a 5 cm.

123 No processo de ensilagem, a pesagem do sorgo picado e da palma fatiada foi  
124 realizada antes da distribuição dos mesmos em camadas sobrepostas, nas proporções  
125 correspondentes a cada tratamento, seguida pela compactação e fechamento dos  
126 silos.

#### 127 *Amostragem e análises químicas*

128 Os primeiros 14 dias de cada período experimental foram destinados à  
129 adaptação dos animais às dietas. Nos quatro dias finais de cada período experimental  
130 (15º, 16º, 17º e 18º dias), foram coletadas amostras dos alimentos fornecidos, das  
131 sobras e das fezes, sempre no período da manhã. As amostras foram armazenadas em  
132 freezer a -18°C para posterior realização das análises químico-bromatológicas. Antes  
133 das análises, as amostras foram descongeladas e submetidas à pré-secagem em  
134 estufas com ventilação forçada a 55°C por 72 horas. Em seguida, as amostras foram  
135 moídas em moinho tipo Willey equipado com quatro facas e peneiras de porosidade  
136 de 1 e 2 mm.

137 Foram realizadas as seguintes análises: matéria seca (INCT-CA G-003/1),  
138 matéria mineral (INCT-CA M-001/1), proteína bruta (INCT-CA N-001/2), gordura bruta  
139 (INCT-CA G-005/2), fibra insolúvel em detergente neutro (FDN) (INCT-CA F-002/2),  
140 fibra insolúvel em detergente ácido (FDA) (INCT-CA F-004/2), fibra insolúvel em  
141 detergente neutro indigestível (FDNi) (INCT-CA F-009/2), fibra insolúvel em detergente  
142 ácido indigestível (FDAi) (INCT-CA F-011/2), cinzas insolúveis em detergente neutro  
143 (CIDN) (INCT-CA M-002/2), cinzas insolúveis em detergente ácido (CIDA) (INCT-CA M-  
144 003/2), proteína insolúvel em detergente neutro (PIDN) (INCT-CA N-004/2), proteína  
145 insolúvel em detergente ácido (PIDA) (INCT-CA N-005/2), amido (INCT-CA G-007/1),  
146 lignina (INCT-CA F-005/2), carboidratos não fibrosos e matéria orgânica residual,  
147 conforme padrões estabelecidos pelo INCT – Ciência Animal, 2ª edição (2021) (Tabela  
148 1). A análise de carboidratos solúveis (CHOs solúveis) foi realizada segundo a  
149 metodologia de Silva e Queiroz (2012), e o NDT estimado conforme o NRC 2001  
150 (Tabela2).

151 *Degradabilidade ruminal in situ das silagens*

152 Para a avaliação da degradabilidade ruminal *in situ* da matéria seca (MS) e da  
153 fibra em detergente neutro (FDN) das silagens experimentais (amostras moídas em  
154 peneira de 2mm), seguiu-se o protocolo descrito pelo INCT-CA (G-009/1). Foi utilizado  
155 um bovino mestiço adulto, canulado no rúmen, alimentado com silagem de sorgo e  
156 concentrado, com relação volumoso:concentrado de 80:20. Empregaram-se sacos de  
157 náilon com porosidade de 50 µm e dimensões de 14 × 7 cm. As incubações foram  
158 realizadas nos seguintes tempos: 0, 3, 6, 12, 24, 30, 48, 72, 96, 120 e 240 horas. Para  
159 assegurar a retirada simultânea de todas as amostras, os sacos foram inseridos em  
160 ordem inversa ao tempo de incubação, iniciando pelo maior tempo (240 h).

161 Os resíduos remanescentes foram analisados quanto aos teores de matéria  
162 seca, e fibra em detergente neutro (INCT-CA F-002/2). A fração degradada foi estimada  
163 com base na diferença entre o peso inicial da amostra e o resíduo remanescente após  
164 os diferentes tempos de incubação.

165 Os dados de degradação foram ajustados a um modelo de regressão não linear,  
166 utilizando-se o método iterativo de Gauss-Newton (Neter *et al.*, 1985), por meio do  
167 software SAS (SAS Institute Inc., Cary, NC, EUA), conforme a equação proposta por  
168 Ørskov e McDonald (1979):

169 
$$Y = a + b (1 - e^{-ct})$$

170 Em que  $Y$  é a degradação acumulada do nutriente no tempo  $t$ , o  $a$  é representa  
171 a fração solúvel degradável imediatamente, o  $b$  é a fração potencialmente degradável,  
172 o  $c$  é a taxa de degradação da fração  $b$ , o  $t$  é o tempo de incubação (h), o  $a + b$  é a  
173 fração degradável potencial total.

174 A partir dos parâmetros obtidos ( $a$ ,  $b$  e  $c$ ), calculou-se a degradabilidade efetiva  
175 (DE), considerando uma taxa de passagem ruminal constante de 5% por hora,  
176 conforme sugerido por AFRC (1993).

177 
$$DE = a + (b \times c) / (c + k)$$

178 Em que  $DE$  é a degradabilidade efetiva da fração,  $k$  é a taxa de passagem  
179 ruminal (0,05 h<sup>-1</sup>). Para a FDN, a modelagem adicional da fração indigestível foi  
180 realizada com base no modelo de Mertens e Loften (1980):

181 
$$Rt = B \times e^{-ct} + I$$

182 Em que  $R_t$  é a quantidade remanescente no tempo  $t$ ,  $B$  é fração  
183 potencialmente degradável,  $c$  é a taxa de degradação da fração  $B$ ,  $I$  é fração  
184 indigestível.

185 Posteriormente, procedeu-se à padronização das frações com base nas  
186 equações propostas por Waldo et al. (1972):

187 
$$BP = B / (B + I) \times 100$$

188 
$$IP = I / (B + I) \times 100$$

189 Em que  $BP$  é a fração potencialmente degradável padronizada (%),  $IP$  é a fração  
190 indigestível padronizada (%),  $I$  é a fração indigestível.

191 A degradabilidade efetiva da FDN foi estimada utilizando o modelo:

192 
$$DE = BP \times c / (c + k)$$

193 Em que  $DE$  é a degradabilidade efetiva,  $BP$  é a fração potencialmente  
194 degradável padronizada (%),  $k$  é a taxa de passagem ruminal ( $0,05 \text{ h}^{-1}$ ).

#### 195 *Determinação do consumo e digestibilidade de nutrientes*

196 As dietas fornecidas e as sobras foram pesadas diariamente ao longo dos 90  
197 dias de duração do experimento. A quantidade de alimento ofertado foi ajustada  
198 diariamente com o intuito de manter as sobras em aproximadamente 5% do total da  
199 MS fornecida. As sobras foram coletadas e pesadas pela manhã, antes da distribuição  
200 do primeiro trato. O consumo de matéria seca e de nutrientes foi estimado a partir da  
201 diferença entre a quantidade de matéria seca fornecida e a quantidade de matéria  
202 seca das sobras, registradas no dia subsequente. Esses dados permitiram o cálculo  
203 preciso da ingestão individual de nutrientes ao longo do período experimental. A  
204 produção de matéria seca fecal foi determinada por meio da coleta total de fezes  
205 durante quatro dias consecutivos. No mesmo período, realizou-se a avaliação do  
206 escore fecal por análise visual, por meio de uma escala de 1 a 5, em que: 1 representa  
207 fezes líquidas, 2 fezes moles, 3 fezes pastosas, 4 fezes firmes e 5 fezes secas ou duras.  
208 A avaliação foi conduzida sempre pelo mesmo observador ao longo dos cinco períodos  
209 experimentais, visando minimizar variações subjetivas e garantir a padronização na  
210 atribuição dos escores.

211 Amostras representativas dos alimentos fornecidos, das sobras e das fezes

foram secas e moídas em peneira com malha de 2 mm de diâmetro. Em seguida, foi avaliada a digestibilidade *in situ*, as amostras foram incubadas em um animal fistulado no rúmen por 288 horas, com o objetivo de determinar a fração de fibra insolúvel em detergente neutro indigestível (FDNi) (INCT-CA, 2021, F-009/1).

O coeficiente de digestibilidade aparente de cada nutriente foi calculado pela seguinte equação: [coeficiente de digestibilidade = (quantidade ingerida – quantidade excretada nas fezes) /pela quantidade ingerida], com base nesses coeficientes, foi estimado o valor de nutrientes digestíveis totais (NDT) das dietas experimentais. Para estimar os valores de energia metabolizável (EM) e energia líquida de lactação (ELL), foram adotadas as equações descritas no Nasem (2021), apresentadas abaixo:

$$EM \text{ (Mcal/kg MS)} = 1,01 \times ED \text{ (Mcal/kg)} - 0,45$$

$$ELL \text{ (Mcal/kg MS)} = 0,703 \times EM - 0,19$$

#### *Balanço de nitrogênio, síntese microbiana e parâmetros ruminais*

No 18º dia de cada período experimental, amostras *spot* de urina foram coletadas aproximadamente quatro horas após o primeiro trato do dia. As amostras continham 10 ml de urina e 40 ml de ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) 0,036 N. A urina foi analisada quanto aos teores de ureia, nitrogênio total e creatinina (Oliveira *et al.*, 2001). O volume urinário diário foi estimado com base no peso corporal e na excreção diária de creatinina, usando a concentração de creatinina na amostra *spot* (Chizzotti *et al.*, 2007).

Amostras de leite foram coletadas durante as ordenhas da manhã e da tarde proporcional às quantidades produzidas em cada ordenha e armazenadas a -18°C para posterior análise dos teores de nitrogênio e alantoína.

O conteúdo de nitrogênio das amostras foi determinado pelo método de Kjeldahl (INCT-CA N-001/2), conforme descrito por Detmann *et al.* (2021). O balanço de compostos nitrogenados (g/dia) foi calculado pela fórmula:

$$N \text{ retido (g)} = N \text{ ingerido (g)} - N \text{ fecal(g)} - N \text{ urinário (g)} - N \text{ leite (g)}$$

Em que N retido é o nitrogênio retido no organismo do animal, N ingerido é o nitrogênio consumido pelo animal, N fecal é o nitrogênio excretado nas fezes, N urinário é o nitrogênio excretado na urina; N leite: nitrogênio excretado no leite

242 Para a determinação dos teores de creatinina e ácido úrico, amostras de urina  
243 foram coletadas e acondicionadas em recipientes devidamente refrigerados. As  
244 concentrações de creatinina e ácido úrico nas amostras urinárias foram determinadas  
245 empregando kits comerciais da Labtest Diagnóstica (Lagoa Santa, MG, Brasil). A  
246 determinação da creatinina foi realizada com o kit Labset®, baseado no método  
247 colorimétrico de Jaffé, no qual a creatinina reage com ácido pícrico em meio alcalino,  
248 formando um complexo cromógeno de coloração alaranjada, cuja intensidade é  
249 diretamente proporcional à concentração de creatinina.

250 A análise do ácido úrico foi conduzida com o kit Ácido Úrico Labtest®, baseado  
251 no método enzimático colorimétrico. Nesse método, o ácido úrico é oxidado pela  
252 uricase, formando alantoína e peróxido de hidrogênio; este, por sua vez, reage com 4-  
253 aminoantipirina e 2,4-diclorofenol na presença de peroxidase, originando um  
254 complexo quinonimínico de coloração rosada, proporcional à concentração de ácido  
255 úrico. A concentração de alantoína na urina e no leite foi determinada conforme o  
256 método descrito por Chen e Gomes (1992).

257 As leituras de ambas as análises foram realizadas em um analisador bioquímico  
258 automático LabX Plefeno® (Plefeno Instruments, São Paulo, SP, Brasil). O equipamento  
259 foi programado para medir as absorbâncias das reações a 500 nm (creatinina) e 520  
260 nm (ácido úrico) por espectrofotometria, calculando automaticamente as  
261 concentrações a partir das curvas de calibração geradas com soluções padrão  
262 fornecidas nos respectivos kits. Os resultados foram expressos em mg dL<sup>-1</sup>.

263 A excreção de purinas totais foi estimada pela soma das quantidades de  
264 alantoína e ácido úrico excretadas, representando os derivados de purinas microbianas  
265 absorvidas (mmol/dia). A partir da excreção de purinas totais (PT), a quantidade de  
266 purinas absorvidas (PA) foi calculada por meio da equação proposta por Chen *et al.*  
267 (1990):

$$268 \quad PA = (PT - 0,385 \times BW^{0,75}) 0,85$$

269 Em que PA são as purinas absorvidas (mmol/dia), PT são as purinas totais  
270 excretadas (mmol/dia),  $BW^{0,75}$  é o peso metabólico do animal, 0,85 é a fração de  
271 recuperação das purinas absorvidas na urina; 0,385 é a excreção endógena de  
272 derivados de purinas (mmol) por unidade de peso metabólico.

273 A estimativa da produção de proteína microbiana baseou-se nas purinas

274 absorvidas como indicador microbiano, de acordo com a equação proposta por Chen e  
275 Gomes (1992):

$$276 \quad NM \text{ (g/dia)} = \{(70 \times PA) / (0,85 \times 0,116 \times 1000)\}$$

277 Em que 70 mg/mmol como o conteúdo de nitrogênio nas purinas; 0,85 é a  
278 digestibilidade intestinal das purinas microbianas; 0,116 é a relação entre nitrogênio  
279 em purinas e o nitrogênio total das bactérias.

280 A eficiência de síntese microbiana (ESP<sub>Bmic</sub>) foi calculada com base na seguinte  
281 equação:

$$282 \quad ESP_{Bmic} = \{(0,629 \times PA) \times 6,25\} / CNDT\}$$

283 Em que PA são as purinas absorvidas (mmol/dia), CNDT é o consumo de  
284 nutrientes digestíveis totais (g/dia); 0,629 representa a fração de purinas absorvidas  
285 desconsiderando a contribuição endógena; 6,25 é o fator de conversão de nitrogênio  
286 em proteína.

287 As medições de nitrogênio amoniacal (N-NH<sub>3</sub>) e pH ruminal foram realizadas no  
288 último dia de cada período experimental, quatro horas após o primeiro trato. Para isso,  
289 foram coletados 100 mL de líquido ruminal de cada animal por meio de sucção com  
290 sonda esofágica acoplada a uma bomba de vácuo. As amostras foram coletadas em  
291 quatro diferentes pontos do rúmen, filtradas com tecido de algodão e  
292 homogeneizadas.

293 O pH foi imediatamente determinado com auxílio de um medidor de pH de  
294 bancada (microprocessado – R-TEC-7-MP). A determinação do N-NH<sub>3</sub> foi realizada  
295 conforme metodologia descrita por Detmann *et al.* (2021).

296 A estimativa da produção de metano entérico (CH<sub>4</sub>) foi realizada pela equação  
297 preditiva proposta por Nasen (2021), que considera parâmetros nutricionais da dieta.  
298 A equação adotada foi:

$$299 \quad CH_4 \text{ (Mcal/dia)} = 0,294 \times IMS - 0,347 \times FA + 0,0409 \times FDNd$$

300 Em que IMS é a ingestão de matéria seca (kg/dia), FA é o Teor de ácidos graxos  
301 da dieta (% da matéria seca), FDNd é a Fibra em detergente neutro digestível (% da  
302 matéria seca)

303 Para conversão do metano (Mcal/dia) para (kg/dia), adotou-se o fator de  
304 correção

$$305 \quad CH_4 \text{ (kg/dia)} = CH_4 \text{ (Mcal/dia)} / 13,34$$



306 Em que 13,34 é o fator de correção do metano, de Mcal para kg

### 307 *Peso, escore corporal, produção e composição do Leite*

308 Os animais foram pesados individualmente no início (Peso Corporal Inicial - PCI)  
309 e ao final (Peso Corporal Final - PCF) de cada período experimental, usando-se uma  
310 balança mecânica Valfran (Votuporanga, Brasil). A diferença de peso (DP) foi calculada  
311 pela fórmula:  $DP = PCI - PCF$ .

312 O escore de condição corporal foi avaliado no início (Escore de Condição  
313 Corporal Inicial - ECCI) e no final (Escore de Condição Corporal Final - ECCF) de cada  
314 período experimental. A avaliação foi realizada por um único técnico, empregando-se  
315 uma escala de 1 a 5 pontos, com intervalos de 0,25, em que 1 representava animais  
316 raquíticos e 5, animais obesos, conforme Fergusson *et al.* (1994).

317 A eficiência alimentar foi calculada pela divisão da produção média de leite  
318 (kg/dia) pela ingestão de matéria seca (MS) (kg/dia). Nos três últimos dias de cada  
319 período experimental, as produções de leite individuais foram registradas. A produção  
320 foi corrigida para 3,5% de gordura utilizando a equação de Sklan *et al.* (1992):

$$321 \quad PL_{3,5\%} = [0,432 + 0,1625 * GL] * PL$$

322 Em que  $PL_{3,5\%}$  é a produção de leite,  $GL$  é a porcentagem de gordura no leite,  
323  $PL$  é a produção de leite (kg).

324 Amostras de leite foram homogeneizadas e armazenadas em frascos contendo  
325 Bronopol como conservante, sendo enviadas ao Laboratório de Análise e Qualidade do  
326 Leite (ESALQ) onde foram determinados os teores de gordura, proteína, lactose,  
327 sólidos totais, e nitrogênio ureico do leite (NUL) pelo método infravermelho.

### 328 *Comportamento ingestivo*

329 Ao final de cada período experimental, foi realizada a observação  
330 comportamental contínua dos animais durante 24 horas, com registros a cada 5  
331 minutos, para determinar os tempos despendidos em alimentação (TA), ruminação  
332 (TR) e ócio (TO), conforme descrito por Mezzalana *et al.* (2011).

333 Durante o período noturno, utilizou-se iluminação artificial para garantir a  
334 acurácia das observações. Adicionalmente, foram realizadas contagens do número de

335 mastigações meréricas por bolo ruminal e a mensuração do tempo de ruminação de  
336 cada bolo, utilizando-se um cronômetro digital. Essas medições foram obtidas a partir  
337 da avaliação de três bolos ruminais por animal, em três faixas horárias distintas: 9h às  
338 11h, 17h às 19h e 21h às 23h, conforme a metodologia proposta por Burger *et al.*  
339 (2000).

340 Com base nos dados coletados, foram calculados o tempo de mastigação da  
341 matéria seca (MMS) e o tempo de mastigação da fibra em detergente neutro (MFDN),  
342 expressos em minutos por quilograma. Também foram determinadas a eficiência de  
343 alimentação (EA), a eficiência de ruminação (ER), o tempo total de mastigação (TMT) e  
344 o número total de mastigações meréricas por dia (NM/dia), tanto para a matéria seca  
345 quanto para a fibra em detergente neutro, de acordo com os procedimentos  
346 metodológicos descritos por Burger *et al.* (2000).

#### 347 *Análises de componentes principais*

348 Uma análise de componentes principais (ACP) foi realizada com o objetivo de  
349 compreender melhor a relação entre as variáveis estudadas e as variáveis  
350 independentes. Foram consideradas 100 características, e os dados foram submetidos  
351 à ACP com base na matriz de correlação entre essas características. As variáveis foram  
352 padronizadas para média igual a zero e variância igual a um, utilizando-se a matriz de  
353 correlação, segundo Johnson & Wichern (2007).

354 O critério de Kaiser (1960) foi adotado para selecionar os componentes  
355 principais que melhor simplificavam a variabilidade dos dados e que seriam  
356 considerados nas análises e interpretações subsequentes. Nesse método, foram  
357 incluídos os componentes com autovalores iguais ou superiores a um (1), pois as  
358 variáveis originais, após padronização, também apresentam variância igual a um. Para  
359 permitir a comparação entre variáveis, foram criadas novas variáveis padronizadas a  
360 partir dos originais, conforme a fórmula:

$$361 \quad Vp = (V - x) / \sigma$$

362 Em que  $Vp$  é a nova variável padronizada,  $V$  é o valor observado da variável,  $x$  é  
363 a média das observações da variável original,  $\sigma$  é o desvio padrão da variável  
364 observada.

365 Na ACP, cada componente principal ( $Y_i$ ) corresponde a uma combinação linear  
366 das variáveis padronizadas ( $X_j$ ) e essas combinações não são correlacionadas entre si.  
367 Os coeficientes  $a_{ij}$  representam os autovetores, com  $i = 1, 2, \dots, p$ . O primeiro  
368 componente principal ( $Y_1$ ) possui a variância máxima entre todas as combinações  
369 lineares de  $X$ . O segundo componente principal é não correlacionado com o primeiro e  
370 possui a segunda maior variância, e assim sucessivamente. Cada componente principal  
371 está associado a um autovalor ( $\lambda$ ) ordenado de forma decrescente.

372 A importância relativa de cada componente principal foi avaliada com base na  
373 porcentagem da variância total explicada, ou seja, a proporção entre seu autovalor e o  
374 somatório dos autovalores de todos os componentes.

375 A interpretação dos componentes selecionados foi feita considerando-se as  
376 variáveis com os maiores coeficientes de ponderação (autovetores), em valor absoluto.  
377 Como não há na literatura um valor fixo que determine a importância desses  
378 coeficientes, eles foram interpretados com base na relação entre as características  
379 agrupadas em cada componente.

#### 380 *Delineamento experimental e análises estatísticas*

381 O experimento foi conduzido segundo um delineamento em dois quadrados  
382 latinos  $5 \times 5$  simultâneos, totalizando dez animais, cinco tratamentos e cinco períodos  
383 experimentais. Cada período experimental teve duração de 18 dias, sendo os 14  
384 primeiros destinados à adaptação às dietas e os 4 dias finais utilizados para a coleta de  
385 dados e amostragens.

386 Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) para  
387 avaliação do efeito dos tratamentos. A normalidade dos resíduos foi verificada por  
388 meio do teste de Shapiro-Wilk, adotando-se o nível de significância de 5%. As análises  
389 estatísticas foram realizadas com o auxílio do software SISVAR (Ferreira, 2019). O  
390 modelo estatístico utilizado foi o seguinte:

$$391 Y_{k(ij)} = \mu + P_i + A_j + Q_l + T_{k(ij)} + e_{k(ij)}$$

392 Em que  $Y_{k(ij)}$  é a observação referente ao tratamento " $k$ ", dentro do período " $i$ "  
393 e animal " $j$ ",  $\mu$  é uma constante associada a todas as observações,  $P_i$  é p Efeito do  
394 período " $i$ ", com  $i = 1, 2, 3, 4$  e  $5$ ,  $A_j$  é p efeito animal " $j$ ", com  $j = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9$  e

10,  $Q_i$  é o efeito do quadrado latino “ $i$ ”, com 1 e 2,  $T_{k(ij)}$  é o efeito do tratamento “ $k$ ”, com “ $k$ ” = 1, 2, 3, 4 e 5,  $k_{(ij)}$  é o erro experimental associado a todas as observações ( $Y_{k(ij)}$ ), independente, que por hipótese tem distribuição normal com média zero e variância  $\delta^2$ . Os tratamentos ( $T_{k(ij)}$ ) foram considerados como efeito fixo; animais ( $A_j$ ), período experimental ( $P_i$ ), o termo de erro ( $e_{ijk}$ ) são efeitos aleatórios.

As médias foram avaliadas por análise de regressão em função dos níveis de palma nas silagens, considerando-se  $\alpha = 0,05$ .

#### *Análise de custo com alimentação*

A composição percentual de cada ingrediente na dieta foi registrada, assim como o consumo médio de matéria seca (CMS) por animal. O custo de cada ingrediente foi calculado com base no seu preço por quilograma de matéria seca (R\$/kg MS). Os ingredientes considerados na análise foram: silagem de sorgo biomassa BRS 716, palma forrageira, milho moído, farelo de soja, mistura ureia/sulfato de amônio (9:1) e suplemento mineral. O custo de alimentação diário por animal foi obtido a partir da seguinte equação:

$$CA (R\$) = \sum (kg \text{ MS do ingrediente } \text{preço por kg MS}) \times CMS$$

Em que CA é o custo de alimentação por animal, CMS é o consumo de matéria seca.

Os preços utilizados para cálculo do custo dos ingredientes foram obtidos junto a fornecedores locais da região. Para avaliação da receita em leite, foi considerado o valor de R\$ 2,78 por litro de leite.

## **5. Resultados**

### *Degradabilidade in situ das silagens*

A fração solúvel da MS (fração “a”), a fração insolúvel potencialmente degradável (“b”), a degradabilidade potencial e as degradabilidades efetivas da MS a 2%, 5% e 8%/h aumentaram linearmente com os níveis de inclusão de palma nas silagens, enquanto a fração indegradável apresentou comportamento inverso. Já a taxa de degradação da fração “c” não foi alterada pelos tratamentos ( $p = 0,44$ ). Em relação à FDN, a taxa de degradação (fração “C”) não foi influenciada pela inclusão de

424 palma ( $p = 0,20$ ). Da mesma forma, as frações potencialmente degradáveis (Bp) e  
425 indigestível padronizada da FDN não apresentaram diferenças significativas ( $p = 0,27$ ).  
426 No entanto, a degradabilidade efetiva da FDN nas taxas de passagem de 2%, 5% e  
427 8%/h apresentou efeito dos tratamentos ( $p < 0,05$ ). Observou-se ajuste linear para as  
428 taxas de 2% e 5%/h ( $p = 0,03$ ), indicando aumento da degradabilidade com a inclusão  
429 de palma, enquanto para a taxa de 8%/h foi identificado efeito quadrático ( $p = 0,01$ )  
430 (Tabela 3).

#### 431 *Consumo e digestibilidade aparente de matéria seca e nutrientes e escore fecal*

432 A inclusão de palma forrageira ensilada na dieta de vacas  $\frac{3}{4}$  Holandês  $\times$  Zebu  
433 alterou o consumo de alguns nutrientes ( $p < 0,05$ ). Quando expressos em valores  
434 absolutos (kg/dia), observou-se efeito linear decrescente para o consumo de FDNcp  
435 ( $p = 0,009$ ) e de EE ( $p = 0,043$ ), enquanto o consumo de CNF apresentou comportamento  
436 linear crescente ( $p = 0,00$ ). Para cada 1% de inclusão de palma forrageira na silagem, os  
437 consumos de FDNcp e de EE reduziram em 12,03 g/dia e 0,67 g/dia, respectivamente.  
438 De outro modo, o consumo de CNF aumentou em 14,87 g/dia (Tabela 4); neste caso, o  
439 mesmo comportamento foi verificado para o consumo em porcentagem do peso  
440 corporal e do peso metabólico.

441 Em relação à digestibilidade da matéria seca (MS) e da proteína bruta (PB),  
442 não foram constatadas diferenças significativas com a inclusão de palma forrageira na  
443 dieta. Por outro lado, a digestibilidade da fibra em detergente neutro corrigida para  
444 cinzas e proteína (FDNcp) e do extrato etéreo (EE) apresentou redução linear ( $p <$   
445  $0,05$ ), enquanto a digestibilidade dos carboidratos não fibrosos (CNF) aumentou  
446 linearmente ( $p = 0,01$ ) à medida que se elevou o nível de inclusão da palma na dieta. O  
447 escore das fezes não teve influência dos níveis de palma nas silagens ( $P > 0,05$ ),  
448 apresentando média geral de 3,61 (Tabela 4).

#### 449 *Balanco de nitrogênio, síntese microbiana e parâmetros ruminais*

450 A inclusão de palma forrageira ensilada na dieta de vacas  $\frac{3}{4}$  Holandês  $\times$  Zebu  
451 não promoveu alterações no balanço de nitrogênio ( $P > 0,05$ ) tanto em g/dia, quanto  
452 % do N ingerido (Tabela 5), com ingestão média de nitrogênio de 296,39 g/dia.

453 As excreções de nitrogênio, tanto fecal (78,27 g/dia) quanto urinária (0,030  
454 g/dia) e via leite (0,058 g/dia), não foram influenciadas pelos tratamentos ( $P > 0,05$ ).  
455 Da mesma forma, a retenção de nitrogênio, indicativa da fração efetivamente  
456 utilizada, permaneceu estável entre os tratamentos, com média de 160,05 g/dia ( $P =$   
457 0,178). As proporções relativas ao nitrogênio ingerido foram de 26,44% para as fezes,  
458 19,67% para o leite e 53,89% para o nitrogênio retido, sem variações significativas ( $P >$   
459 0,05). A única variável que apresentou significância foi a excreção urinária de N em  
460 relação ao N ingerido ( $P = 0,04$ ), embora não tenha se ajustado aos modelos ( $P > 0,05$ ).  
461 A inclusão de palma forrageira na dieta de vacas  $\frac{3}{4}$  Holandês  $\times$  Zebu não promoveu  
462 alterações significativas nos parâmetros ruminais ( $P > 0,05$ ), com exceção para a  
463 concentração de ácido láctico, que foi influenciada linearmente ( $P = 0,001$ ), com  
464 aumento de 0,8g/L para cada 1% de inclusão de palma na silagem. Os demais ácidos  
465 orgânicos tiveram concentrações semelhantes entre os níveis de palma. O pH ruminal  
466 teve média de 7,45 ( $P = 0,111$ ). A concentração média de N-amoniaco foi de 8,92 g/l e  
467 a produção média de metano ruminal foi de 0,33 kg/dia (Tabela 5). As variáveis  
468 relacionadas à produção microbiana ruminal (alantoína, ácido úrico, derivados de  
469 purinas, purinas absorvidas, N microbiano, PB microbiana, eficiência microbiana/CMS,  
470 eficiência microbiana/CNDT) não apresentaram diferença estatística ( $p > 0,05$ ) sobre os  
471 níveis de inclusão de palma na silagem mista com sorgo biomassa BRS 716.

#### 472 *Comportamento ingestivo e eficiência de alimentação*

473 A inclusão de palma forrageira na dieta de vacas  $\frac{3}{4}$  Holandês  $\times$  Zebu  
474 influenciou significativamente algumas variáveis relacionadas ao comportamento  
475 ingestivo, à eficiência de ruminação e à ingestão hídrica, sendo observada uma taxa  
476 média de evaporação de 2,66 litros por dia, fator relevante na interpretação da  
477 ingestão de água (Tabela 6). O tempo de alimentação, expresso em minutos por  
478 quilograma de FDNcp, apresentou aumento linear significativo ( $P = 0,001$ ), variando de  
479 51,18 a 70,31 min/kg FDNcp. Estima-se um acréscimo de 0,298 min/kg FDNcp para  
480 cada 1% de inclusão de palma na dieta.

481 O tempo de ruminação, expresso por quilograma de matéria seca (min/kg MS)  
482 foi significativamente influenciado ( $P = 0,005$ ), com ajuste quadrático ( $P = 0,006$ ),

sendo o ponto de máxima estimado na inclusão de 23,69% de palma forrageira. O número de movimentos mastigatórios por dia (número/dia) diferiu entre os tratamentos ( $P = 0,029$ ), com efeito quadrático significativo ( $P = 0,002$ ), e ponto de máxima estimado em 27,16% de inclusão. As variáveis relacionadas à mastigação, como tempo por bolo (min/bolo) e tempo por quilograma de MS (min/kg MS), também foram significativamente influenciadas ( $P = 0,043$  e  $P = 0,022$ , respectivamente), ambas com ajuste quadrático ( $P = 0,007$  e  $P = 0,005$ ). Os pontos de máxima para essas variáveis foram estimados em 25,87% e 27,68% de inclusão de palma, respectivamente. O tempo de mastigação por quilograma de FDNcp (min/kg FDNcp) aumentou significativamente com a inclusão de palma forrageira na dieta ( $P = 0,021$ ), apresentando variação de 148,23 a 188,89 min/kg FDNcp. Constatou-se efeito linear ( $P = 0,009$ ), com incremento estimado de 0,46 min/kg FDNcp para cada 1% de inclusão de palma forrageira. A duração dos períodos de alimentação e ruminação também foi afetada significativamente pelos tratamentos ( $P = 0,034$  e  $P = 0,032$ , respectivamente), ambos com ajuste quadrático ( $P = 0,003$  e  $P = 0,017$ ). Os pontos de máxima foram estimados em 27,16% e 26,23% de inclusão de palma, respectivamente. A eficiência de ruminação, expressa em gramas de matéria seca por hora (g MS/h), foi significativamente diferente entre os tratamentos ( $P = 0,009$ ), com ajuste quadrático ( $P = 0,023$ ), e ponto de máxima estimado em 20,29% de inclusão de palma. A ingestão de água apresentou redução linear ( $P < 0,01$ ) com o aumento dos níveis de inclusão de palma forrageira, variando de 46,29 L/dia no tratamento controle (0% de palma) para 28,15 L/dia no nível de 60% de inclusão. Estima-se uma diminuição de 0,26 L/dia para cada 1% de palma forrageira adicionada à dieta.

#### *Desempenho animal e composição do Leite*

A inclusão de palma forrageira na dieta de vacas  $\frac{3}{4}$  Holandês  $\times$  Zebu não influenciou significativamente o peso corporal final dos animais ( $P = 0,890$ ). O valor médio de peso inicial foi de 490,9 kg, enquanto o peso final médio foi de 499,7 (Tabela 7). No entanto, a diferença de peso corporal das vacas foi significativamente influenciada pelos níveis de inclusão de palma forrageira na dieta ( $P = 0,018$ ), com ajuste quadrático significativo ( $P = 0,050$ ). Os maiores ganhos de peso foram

513 observados em níveis intermediários de inclusão, sendo o ponto de máxima estimado  
514 em aproximadamente 31,4% de palma na matéria natural da silagem.

515 Quanto à condição corporal, os escores corporais inicial (ECI) e final (ECF) não  
516 apresentaram variações significativas entre os tratamentos ( $P = 0,269$  e  $P = 0,054$ ,  
517 respectivamente), permanecendo estáveis ao longo do experimento. A diferença entre  
518 os escores também não foi estatisticamente significativa ( $P = 0,787$ ), com média geral  
519 de 0,015 pontos. A produção média de leite foi de 13,48 kg/dia, sem diferença  
520 significativa entre os tratamentos ( $P = 0,185$ ). Da mesma forma, a produção de leite  
521 corrigida para 3,5% de gordura teve média de 13,58 kg ( $P = 0,100$ ). A composição do  
522 leite manteve-se estável, sem ser afetada pelos níveis de inclusão de palma na dieta.  
523 Apenas o nitrogênio ureico do leite apresentou redução linear significativa ( $P < 0,05$ )  
524 com o aumento da palma na dieta.

#### 525 *Análise de custo*

526 A análise de custo com alimentação (Tabela 8) indicou variação no custo por  
527 quilograma de matéria seca (MS) e no valor total diário gasto por animal conforme os  
528 níveis crescentes de inclusão de palma forrageira na dieta. O custo por kg de MS  
529 apresentou pequeno decréscimo progressivo com o aumento da proporção de palma,  
530 reduzindo-se de R\$ 1,157 (0% palma) para R\$ 1,136 (60% palma) (Tabela 8). Já o custo  
531 diário por animal variou de R\$ 15,46 (0% palma) a R\$ 16,77 (15% palma). Entretanto,  
532 na avaliação da relação da receita com a venda de leite e o custo diário com  
533 alimentação, verificou-se uma variação de R\$ 20,12 (60% de palma) a R\$ 23,69 (30%  
534 de palma).

#### 535 *Análise de componentes principais*

536 Em relação à análise de componentes principais (PCA), constatou-se que os dois  
537 primeiros componentes principais explicaram conjuntamente 63,915% da variabilidade  
538 total dos dados, sendo 32,633% atribuída ao Componente (CP) 1 e 31,282% ao (CP) 2  
539 (Figura 1). O tratamento com 15% de inclusão de palma apresentou forte dispersão no  
540 sentido positivo do Componente 1, enquanto o nível de 0% apresentou valor  
541 fortemente negativo nesse mesmo eixo. O nível de 60% destacou-se ao longo do eixo



vertical (CP 2), enquanto o nível de 45% foi posicionado de forma oposta. O tratamento com 30% de inclusão concentrou-se próximo à origem dos eixos, indicando maior proximidade com a média multivariada dos dados. Dentro do componente 1 e 2 com coeficientes positivos, destacaram-se as variáveis dependentes consumo de matéria seca (0,1106; CP1) e (0,1347; CP2), nitrogênio retido (0,1016;CP1) e (0,0724; CP2), degradabilidade efetiva da MS a 2%/hora (0,1095; CP1) e (0,1384; CP2) e degradabilidade efetiva da MS a 5%/hora (0,1152; CP1) e (0,1146; CP2).

A análise de agrupamento hierárquico dos tratamentos, representada pelo dendrograma, evidenciou distinções marcantes entre os diferentes níveis de inclusão de palma forrageira na ensilagem com sorgo biomassa BRS 716. Os tratamentos com 30% e 45% de inclusão demonstraram maior similaridade entre si, formando o primeiro agrupamento. Este grupo posteriormente se uniu ao tratamento com 15%, indicando que os níveis intermediários de inclusão (15% a 45%) compartilham características nutricionais e respostas produtivas semelhantes.

Por outro lado, os tratamentos com 0% e 60% de palma foram agrupados separadamente, sugerindo comportamento semelhante entre esses extremos, mas com perfil distinto em relação aos níveis intermediários. A maior distância observada entre os grupos (0% e 60% versus 15%, 30% e 45%) indica uma significativa dissimilaridade entre esses conjuntos de tratamentos.

## **6. Discussão**

### ***Degradabilidade in situ das silagens***

A elevação dos níveis de palma forrageira nas silagens promoveu alterações importantes na cinética de degradação ruminal da matéria seca (MS), refletidas pelo aumento das frações solúvel (a), potencialmente degradável (b), da degradabilidade potencial (DP) e efetiva (DE), além da redução da fração indegradável. Tais alterações estão associadas à composição química da palma, que apresenta maiores teores de carboidratos não fibrosos e menor conteúdo de fibra em detergente neutro (FDN) em comparação ao sorgo biomassa BRS 716 (Cordeiro *et al.*, 2023; Hora *et al.*, 2023). Essa característica favorece a ação microbiana no rúmen, principalmente sobre os

573 substratos solúveis e parcialmente estruturais, contribuindo para maior  
574 disponibilidade energética.

575 Apesar dessas mudanças, a taxa de degradação “c” da MS não foi  
576 significativamente alterada ( $p = 0,44$ ), o que indica que a inclusão de palma não  
577 interfere na velocidade de digestão da fração insolúvel. Podendo observar que o efeito  
578 da palma está mais relacionado à modulação da fração degradável do que à alteração  
579 da taxa de digestão da fração insolúvel (Pastorelli *et al.*, 2022; Maniaci *et al.*, 2024)

580 No tocante à FDN, resultados semelhantes foram observados: a taxa de  
581 degradação “c” permaneceu estável ( $p = 0,20$ ), conforme descrito por Gomes *et al.*  
582 (2023) e ratificado por Cordeiro *et al.* (2023), sugerindo que, embora a palma  
583 contribua para a melhora na digestibilidade geral da dieta, sua ação sobre a fibra  
584 estrutural é mais limitada quando se considera a cinética de degradação.

585 Contudo, a degradabilidade efetiva da FDN aumentou linearmente nas taxas de  
586 passagem ruminal de 2% e 5%/h, o que pode ser atribuído à maior solubilização inicial  
587 da fração fibrosa com maior tempo de retenção no rúmen. Esse resultado é relevante  
588 em sistemas de produção com menor taxa de passagem, comuns em dietas com  
589 menor inclusão de concentrado. Para a taxa de passagem de 8%/h, observou-se efeito  
590 quadrático ( $p = 0,01$ ), com ponto ótimo estimado em 21,47% de inclusão de palma. Tal  
591 comportamento pode estar relacionado a alterações na estrutura física da fibra frente  
592 ao aumento de carboidratos solúveis, afetando a eficiência de ataque microbiano sob  
593 trânsito mais acelerado (Hora *et al.*, 2023; Alencar *et al.*, 2023).

#### 594 *Consumo e digestibilidade aparente da matéria seca e nutrientes e escore fecal*

595 A inclusão crescente de palma forrageira na ensilagem com o sorgo biomassa  
596 BRS 716 na alimentação de vacas mestiças promoveu alterações significativas no  
597 consumo e na digestibilidade dos nutrientes. Constatou-se diminuição sobre o  
598 consumo de FDNcp, enquanto o consumo de carboidratos não fibrosos (CNF)  
599 aumentou. Esses resultados refletem a composição da palma, que apresenta baixo  
600 teor de fibra e alta concentração de carboidratos não fibrosos, como relatado por Hora  
601 *et al.* (2023) e Gomes *et al.* (2023). A diminuição da ingestão de FDNcp pode ser  
602 atribuída ao efeito de diluição da fração fibrosa na dieta total, causada pela

603 substituição parcial do sorgo, mais fibroso, pela palma, com menor densidade de fibra.  
604 Dados semelhantes foram relatados por Borges *et al.* (2019) e Cordeiro *et al.* (2023),  
605 que observaram aumento no consumo de CNF, confirmando o papel da cactácea como  
606 diluente da fração estrutural da dieta e reforçando a contribuição energética da palma.

607       Em termos de digestibilidade, o comportamento divergente entre as frações  
608 fibrosas e não fibrosas se refletiu claramente nos dados do presente experimento. A  
609 digestibilidade da FDNcp apresentou redução, o que pode estar relacionado tanto à  
610 menor proporção de fibra total quanto ao possível efeito de diluição da atividade  
611 microbiana específica para a degradação de fibras (Oliveira *et al.*, 2023). Por outro  
612 lado, observou-se aumento na digestibilidade dos CNF, associado à maior oferta de  
613 substratos fermentáveis, que favorecem o crescimento de bactérias fermentadoras de  
614 CNF e aumentam a eficiência da fermentação ruminal (Gomes *et al.*, 2023; Alharthi *et*  
615 *al.*, 2025).

616       A análise de degradabilidade ruminal da matéria seca (MS) confirma esse  
617 padrão. Houve aumento da fração solúvel (a), da fração potencialmente degradável  
618 (b), e da degradabilidade efetiva (DE) nas diferentes taxas de passagem, demonstrando  
619 que a inclusão de palma favorece a fermentação dos componentes da dieta no rúmen.  
620 Além disso, a redução da fração indegradável corrobora a substituição de partículas  
621 menos digestíveis, presentes no sorgo, por componentes mais acessíveis da palma.

622       A inclusão de palma forrageira em dietas tem se mostrado eficaz para elevar a  
623 digestibilidade dos nutrientes, além de aumentar o teor de nutrientes digestíveis totais  
624 (NDT), evidenciando seu potencial como ingrediente estratégico para melhorar o  
625 aproveitamento da dieta (Borges *et al.*, 2019). Além disso, a associação da palma com  
626 outras forragens contribui para uma melhor sincronização entre energia e nitrogênio  
627 no rúmen, favorecendo o crescimento microbiano e a fermentação ruminal (Gomes *et*  
628 *al.*, 2023).

629       A inclusão da palma nos níveis avaliados não comprometeu a consistência e  
630 estrutura fecal, o que sugere que o trânsito intestinal e a digestibilidade da dieta foram  
631 mantidos dentro de padrões fisiológicos adequados. O escore fecal é um indicativo  
632 indireto do equilíbrio nutricional da dieta, refletindo aspectos como o teor de fibra  
633 fisicamente efetiva, a proporção de proteína degradável no rúmen e o conteúdo de  
634 matéria seca. Alterações extremas no escore com fezes muito líquidas ou

635 excessivamente firmes podem sinalizar distúrbios digestivos, como fermentações  
636 desbalanceadas ou passagens aceleradas de digesta (Ferreira *et al.*, 2009; Valadares  
637 Filho *et al.*, 2016; Detmann *et al.*, 2021).

638 Parte significativa da água presente na palma forrageira está associada à sua  
639 mucilagem, que tem consistência gelatinosa e viscosa, com alta capacidade de  
640 retenção de água e poder hidratante, possivelmente estas características podem ter  
641 contribuído para a regulação do fluxo intestinal e, consequentemente, na formação do  
642 bolo fecal.

643 Apesar do alto teor de umidade da palma forrageira e do seu baixo conteúdo  
644 de fibra estrutural, sua associação com o sorgo biomassa, uma forrageira com maior  
645 teor de fibra, manteve bom padrão fermentativo e contribuiu para a manutenção da  
646 consistência fecal. Segundo Alencar *et al.* (2023), a combinação de ingredientes com  
647 características complementares pode resultar em silagens mais equilibradas, com  
648 impacto positivo sobre o consumo, a digestibilidade e a saúde intestinal dos animais.

#### 649 *Balanço de nitrogênio, síntese microbiana e parâmetros ruminais*

650 A inclusão crescente de palma forrageira não promoveu alterações  
651 significativas no balanço de nitrogênio, independentemente do nível de inclusão ou da  
652 forma de expressão dos dados, exceto para a excreção urinária como porcentagem do  
653 N ingerido. Esse resultado sugere que a substituição parcial do sorgo pela palma não  
654 comprometeu a eficiência de utilização do nitrogênio dietético, mantendo a  
655 estabilidade do metabolismo proteico dos animais. A ingestão de nitrogênio  
656 permaneceu estável entre os tratamentos, indicando que a inclusão de palma não  
657 afetou negativamente o consumo de proteína bruta, o que pode estar associado à boa  
658 palatabilidade da palma e ao balanceamento nutricional das dietas (Nasem, 2021).

659 A ausência de diferenças na excreção de nitrogênio nas fezes, urina e leite  
660 entre os tratamentos reforça a manutenção da dinâmica de utilização do N ingerido. A  
661 baixa excreção urinária e a constância da excreção no leite indicam que a maior parte  
662 do nitrogênio absorvido foi utilizada eficientemente para funções produtivas, sem  
663 prejuízos à síntese proteica láctea (Rehman *et al.*, 2020; Nasem, 2021). A retenção de

664 nitrogênio também não variou significativamente, reforçando a adequação nutricional  
665 das dietas mesmo com o aumento da inclusão de palma (Oliveira *et al.*, 2023).

666 Quando expressos em percentual do nitrogênio ingerido, os dados de excreção  
667 fecal (25,39 a 28,12%), no leite (19,07 a 20,19%) e retenção (52,81 a 54,46%)  
668 mostraram-se consistentes entre os níveis testados, com exceção da excreção urinária,  
669 que não apresentou tendência matemática definida, sugerindo que a variação pode ter  
670 sido mais influenciada pela variabilidade individual dos animais do que pela dieta.  
671 Esses achados indicam que a palma forrageira ensilada, nos níveis testados, pode ser  
672 utilizada como volumoso alternativo em regiões semiáridas sem comprometer o  
673 metabolismo proteico (Oliveira *et al.*, 2023).

674 Quanto aos parâmetros ruminais, a inclusão de palma não afetou o pH ruminal,  
675 que se manteve dentro da faixa fisiológica ideal (6,2 a 7,5), indicando estabilidade do  
676 ambiente fermentativo mesmo com o aumento de substratos de rápida fermentação.  
677 Esse dado reforça que o uso da palma, embora rica em carboidratos solúveis, não  
678 levou à acidose subclínica, mantendo o equilíbrio ácido-base no rúmen (Oliveira *et al.*,  
679 2023). Nessas condições, a diminuição da digestibilidade da fibra com maiores níveis  
680 de palma pode estar mais relacionada à menor participação dessa fração na dieta do  
681 que a alterações no ambiente ruminal.

682 A concentração de ácido láctico aumentou de forma linear com o nível de  
683 palma, sugerindo maior atividade de microrganismos produtores desse ácido, devido à  
684 maior disponibilidade de carboidratos fermentáveis (Gao *et al.*, 2024; Guo *et al.*, 2025).  
685 Todavia, como o pH não foi afetado, é provável que os mecanismos de tamponamento  
686 ruminal, especialmente a diluição ruminal, ou de absorção de ácidos tenham  
687 compensado essa mudança (Van Soest, 1994).

688 Os demais ácidos orgânicos, (málico, succínico, acético, propiônico e butírico),  
689 bem como os níveis de etanol e a produção estimada de metano não foram  
690 influenciados pela dieta, indicando que o ambiente fermentativo global permaneceu  
691 estável, apesar da alteração pontual no ácido láctico. Esse perfil foi acompanhado pela  
692 ausência de efeitos sobre a síntese de proteína microbiana, o que sugere que a palma  
693 não impactou de forma relevante a atividade da microbiota ruminal. Mesmo com sua  
694 alta umidade, a palma não prejudicou a eficiência de fermentação, nem comprometeu  
695 a utilização dos substratos pelos microrganismos (Guo *et al.*, 2025; Zhang *et al.*, 2025).

696 O consumo semelhante de matéria seca entre os tratamentos e o maior fornecimento  
697 de carboidratos fermentáveis parecem ter sustentado a produção e a eficiência  
698 microbiana.

699 Segundo Gao *et al.* (2024) e Guo *et al.* (2025), embora fatores como a taxa de  
700 passagem e o teor de fibra e umidade da dieta possam afetar a eficiência fermentativa,  
701 esses efeitos nem sempre são traduzidos em diferenças significativas na síntese  
702 microbiana.

### 703 *Comportamento ingestivo e eficiência de alimentação*

704 A inclusão de palma forrageira na dieta de vacas  $\frac{3}{4}$  Holandês  $\times$  Zebu  
705 promoveu alterações significativas no comportamento ingestivo, na eficiência de  
706 ruminação e na ingestão hídrica, evidenciando o impacto dessa forrageira sobre  
707 aspectos fisiológicos e funcionais da alimentação dos ruminantes.

708 O aumento linear no tempo de alimentação por quilograma de FDN ingerido  
709 indica que a diluição da fração fibrosa, decorrente da alta umidade da palma  
710 forrageira, levou os animais a prolongarem o tempo de alimentação, decorrente do  
711 menor efeito de enchimento ruminal. De acordo com, Zhang *et al.* (2025), a redução  
712 na fibra fisicamente efetiva comprometeu o estímulo à mastigação e à motilidade  
713 ruminal, fazendo com que os animais adaptassem seu comportamento ingestivo para  
714 compensar a menor densidade fibrosa da dieta.

715 O comportamento quadrático do tempo de ruminação por quilograma de  
716 matéria seca (MS) e da eficiência de ruminação, com pontos de máxima em 23,69% e  
717 20,29% de inclusão de palma, indica que níveis intermediários podem otimizar o  
718 estímulo à ruminação, possivelmente em função do equilíbrio entre a fração fibrosa e  
719 os componentes mais fermentáveis da dieta (Klevenhusen e Zebeli, 2021). De forma  
720 consistente, variáveis relacionadas ao número de mastigações diárias e ao tempo de  
721 mastigação (minuto por bolos e por kg de MS) também seguiram comportamento  
722 quadrático, com máximas entre 25% e 28% de inclusão.

723 O aumento linear no tempo de mastigação por quilograma de FDNcp ingerida  
724 pode ser explicado pela redução do consumo total de FDNcp com a inclusão crescente  
725 de palma na dieta. Cordeiro *et al.* (2023) também relataram esse padrão em dietas

726 com palma, reforçando os achados deste estudo. Além disso, o comportamento  
727 quadrático observado nas durações dos períodos de alimentação e ruminação, com  
728 valores máximos próximos a 27% de inclusão de palma na silagem, evidencia que o  
729 comportamento ingestivo é altamente sensível às alterações na estrutura física e na  
730 composição química da dieta (Silva *et al.*, 2023).

731         Devido ao seu elevado teor de umidade, a palma contribui significativamente  
732 para o suprimento hídrico dos animais, diminuindo a necessidade de ingestão  
733 voluntária de água. Esse efeito representa uma vantagem estratégica fundamental em  
734 sistemas de produção localizados em regiões semiáridas, onde os recursos hídricos são  
735 limitados. Além de seu valor nutricional, a palma exerce papel crucial no balanço  
736 hídrico dos ruminantes, favorecendo a resiliência dos sistemas produtivos frente à  
737 escassez de água.

738         De forma geral, os resultados demonstram que a inclusão de palma  
739 forrageira, nos níveis estudados, modula positivamente o comportamento ingestivo e  
740 a eficiência de ruminação, ao mesmo tempo em que propicia a redução da ingestão  
741 hídrica, reforçando seu potencial como forrageira estratégica em ambientes de maior  
742 restrição hídrica.

#### 743 *Desempenho animal e composição do Leite*

744         A manutenção da produção e composição do leite, peso e condição corporal  
745 das vacas com os níveis crescentes de palma forrageira na ensilagem com o sorgo  
746 biomassa reflete os resultados verificados sobre o consumo, digestibilidade e  
747 parâmetros ruminais. A estabilidade nos escores de condição corporal entre os  
748 tratamentos ratifica que a cactácea, mesmo com alta umidade, foi capaz de manter o  
749 aporte energético e nutricional necessário à manutenção do estado fisiológico das  
750 vacas (Cordeiro *et al.*, 2023; Oliveira *et al.*, 2023).

751         A redução linear no teor de nitrogênio ureico do leite (NUL) com o aumento da  
752 inclusão de palma na dieta é o indicador da eficiência no aproveitamento do nitrogênio  
753 dietético. Esse efeito é atribuído à elevação na disponibilidade de carboidratos de  
754 rápida fermentação, presentes em maior proporção na palma forrageira, os quais  
755 favorecem a incorporação de amônia ruminal pelos microrganismos e,

consequentemente, a síntese de proteína microbiana (Gao *et al.*, 2024; Guo *et al.*, 2025).

Quando há sincronia entre a liberação de nitrogênio e energia fermentável no rúmen, há menor acúmulo de amônia, resultando em menor excreção de ureia no leite (Zhang *et al.*, 2020; Zhang *et al.*, 2025). Isso é particularmente vantajoso, pois contribui para reduzir perdas de nitrogênio no ambiente e melhorar a sustentabilidade do sistema produtivo.

A combinação entre palma e sorgo biomassa na forma de silagens mistas tem se revelado eficaz para equilibrar o fornecimento de fibra e energia, além de apresentar boa estabilidade fermentativa e aceitabilidade pelos animais (Silva *et al.*, 2023; Cordeiro *et al.*, 2023). Os dados obtidos neste estudo reforçam que a inclusão de palma em até 60% na silagem mista com o sorgo biomassa BRS 716 não compromete a produção de leite nem a condição corporal, e ainda pode proporcionar melhor aproveitamento do nitrogênio dietético, o que pode ter reflexos positivos no custo alimentar e no desempenho reprodutivo, considerando que altos níveis de NUL estão associados à pior fertilidade em vacas leiteiras (Leão *et al.*, 2014; Oliveira *et al.*, 2023). Todavia, apesar da diminuição do NUL, as variáveis relacionadas à síntese microbiana ruminal não foram influenciadas pelos níveis de palma na dieta.

#### *Análise de custo com alimentação*

A avaliação econômica das dietas formuladas com diferentes níveis de inclusão de palma forrageira associada ao sorgo BRS 716 revelou que, apesar de o custo por quilograma de matéria seca (MS) ter apresentado uma pequena redução progressiva com o aumento da participação da palma na dieta, essa economia não se traduziu diretamente em uma redução no custo diário por animal. Essa discrepância pode ser atribuída ao aumento numérico, porém, não significativo ( $P>0,05$ ) no consumo de MS (CMS) observado nos tratamentos com palma. Especificamente, o custo por kg de MS reduziu de R\$ 1,157 no tratamento controle (0% de palma) para R\$ 1,136 na dieta com 60% de inclusão na silagem, confirmando o potencial da palma forrageira como insumo de menor custo, e alta disponibilidade em regiões semiáridas (Oliveira *et al.*, 2023; Silva *et al.*, 2023). Já a relação da receita em leite menos o custo



786 com alimentação, a silagem com 30% de palma obteve o melhor resultado (R\$ 23,69).  
787 A definição do nível ótimo de inclusão deve ponderar não apenas a viabilidade  
788 econômica, mas também a resposta animal em termos de desempenho produtivo e  
789 eficiência alimentar (Oliveira *et al.*, 2023).

790 O uso estratégico dessa forrageira, especialmente em regiões semiáridas,  
791 representa uma alternativa viável e sustentável para a produção leiteira, contribuindo  
792 para a resiliência dos sistemas produtivos frente à escassez hídrica e à limitação de  
793 recursos alimentares convencionais.

#### 794 *Análise de componentes principais*

795 A análise de componentes principais (PCA) revelou que os dois primeiros  
796 componentes explicaram 63,9% da variabilidade total, sendo as variáveis consumo de  
797 matéria seca, nitrogênio retido e degradabilidade efetiva da matéria seca as mais  
798 influentes para a separação dos tratamentos. Observou-se uma tendência geral das  
799 variáveis analisadas em direção ao nível de 60% de inclusão de palma forrageira, que  
800 se destacou fortemente no eixo CP2. Esse padrão indica que à medida que os níveis de  
801 inclusão aumentaram, especialmente chegando a 60%, ocorreram mudanças mais  
802 marcantes no perfil produtivo e nutricional dos animais. Apesar de a análise univariada  
803 não ter mostrado diferenças significativas no consumo de matéria seca entre os  
804 tratamentos, a análise multivariada revelou que essa variável contribuiu de forma  
805 relevante para a separação dos grupos no PCA. Isso demonstra o poder da análise  
806 multivariada em captar padrões e inter-relações entre variáveis que, isoladamente,  
807 poderiam passar despercebidos.

808 Os tratamentos intermediários (como 30% e 45%) apresentaram  
809 posicionamento mais próximo à média geral, enquanto o tratamento sem palma (0%)  
810 mostrou-se mais afastado no sentido negativo do CP1. Esses resultados sugerem que  
811 os maiores níveis de inclusão não apenas impactaram diretamente os principais  
812 parâmetros avaliados, mas também foram responsáveis por direcionar a variabilidade  
813 multivariada do conjunto dos dados, reforçando o papel da palma forrageira como  
814 moduladora importante da resposta animal.

815 A análise de agrupamento hierárquico, representada no dendrograma,

816 demonstrou a formação de dois grupos principais entre os níveis de inclusão de palma  
817 forrageira nas dietas. O primeiro grupo reuniu os tratamentos com 15%, 30% e 45% de  
818 inclusão, que apresentaram comportamento semelhante em relação às variáveis  
819 analisadas, indicando efeitos nutricionais e produtivos próximos. O segundo grupo foi  
820 composto pelos tratamentos com 0% e 60% de inclusão, que se distanciaram dos  
821 demais, sugerindo respostas distintas tanto no consumo quanto no aproveitamento  
822 dos nutrientes (Figura2).

823         A maior distância observada entre os grupos confirma que as dietas sem  
824 palma (0%) ou com maior nível de inclusão (60%) se diferenciaram substancialmente  
825 dos níveis intermediários. Isso indica que as inclusões moderadas (entre 15% e 45%)  
826 proporcionaram respostas mais estáveis e consistentes, enquanto os extremos de  
827 inclusão alteraram significativamente o padrão de resposta dos animais. Esses  
828 resultados reforçam os achados da análise de componentes principais (PCA),  
829 evidenciando que o nível de inclusão da palma influencia diretamente o perfil das  
830 dietas e o desempenho animal, e que há uma zona de equilíbrio até 60% de inclusão.

## 831 **7. Conclusão**

832

833         A utilização da palma forrageira em até 60% da matéria natural da silagem  
834 com o sorgo biomassa BRS 716, para vacas mestiças em lactação, altera o consumo de  
835 FDN e CNF; entretanto, não modifica o consumo de MS, proteína e energia, mantendo  
836 a produção e composição do leite, o peso e escore corporal das vacas. Além disso,  
837 reduz a ingestão voluntária de água, o que reforça o papel da palma forrageira não  
838 apenas como fonte de nutrientes, mas também como estratégia eficiente de  
839 hidratação dos animais. A redução da ingestão de água com o aumento da participação  
840 da palma na dieta pode representar uma vantagem estratégica em regiões áridas e  
841 semiáridas, onde a disponibilidade hídrica é limitada.

842         O estudo demonstra que o uso da palma na forma ensilada com o sorgo pode  
843 ser uma estratégia adotada pelos produtores, pois favorece a logística do sistema  
844 produtivo, por minimizar as dificuldades enfrentadas com os processos de colheita,  
845 processamento e transporte da palma utilizada na forma *in natura*.

## 846    **Agradecimentos**

847            À FAPEMIG, pelo auxílio financeiro; ao CNPq, CAPES e UNIMONTES, pelo  
848    auxílio com bolsas de estudo; e a EPAMIG-Nova Porteirinha, pela doação da palma  
849    forrageira.

## 850    **Referências**

851

852    Agricultural and Food Research Council – AFRC. Energy and protein requirements of  
853    ruminants. Wallingford: CAB International, 1993. 159 p.

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

859    Alharthi, A. S.; Al-baadani, H. H.; Soufan, W.; Alghonaim A. A.; Alkoaik, F. N., Almaarik,  
860    B. M., Alhidary I. Evaluatino of the nutritional value and bioactive compounds of palm  
861    by-products and their potential use in the animal feed industry: in vitro study. Italian  
862    Journal of Animal Science. V.24, p.1119-1210. 2025.  
863    <https://doi.org/10.1080/1828051X.2025.2495292>

864    Borges, L.D.A., Rocha Júnior, V.R., Moncao, F.P., Soares, C., Ruas, J.R.M., Silva, F.V.  
865    e, Rigueira, J.P.S., Costa, N.M., Oliveira, L.L.S., Rabelo, W.O. Nutritional and productive  
866    parameters of Holstein/Zebu cows fed diets containing cactus pear. Asian-Australasian  
867    Journal of Animal Sciences, 32: 9, p. 1373-1380, 2019.  
868    <https://doi.org/10.5713/ajas.18.0584>

869    Burger, P. J.; Pereira, J. C.; Queiroz, A. C. de; Coelho da Silva, J. F.; Valadares Filho, S. de  
870    C.; Cecon, P. R.; Casali, A. D. P. Comportamento ingestivo em bezerros holandeses  
871    alimentados com dietas contendo diferentes níveis de concentrado. Revista Brasileira  
872    de Zootecnia, v. 29, p. 236–242, 2000.  
873    <https://doi.org/10.1590/S1516-35982000000100031>

874 Chen, X. B.; Gomes, M. J. Estimation of microbial protein supply to sheep and cattle  
 875 based on urinary excretion of purine derivatives – an overview of technical details.  
 876 Aberdeen: International Feed Research Unit, Rowett Research Institute, 1992.

877 Chizzotti, M. L.; Valadares Filho, S. C.; Valadares, R. F. D.; Chizzotti, F. H. M.;  
 878 Marcondes, M. I.; Fonseca, M. A. Consumo, digestibilidade e excreção de uréia e  
 879 derivados de purinas em vacas de diferentes níveis de produção de leite. Revista  
 880 Brasileira de Zootecnia, v. 36, p. 138–146, 2007.  
 881 <https://doi.org/10.1590/S1516-35982007000100017>

882 Cordeiro, M. W. S.; Júnior, V. R. R.; Monção, F. P.; Palma, M. N. N.; Rigueira, J. P. S.;  
 883 Cunha Siqueira Carvalho, C.; Costa, M. D.; D’Angelo, M. F. S. V.; Costa, N. M.; Oliveira,  
 884 L. I. S. de. Tropical grass silages with spineless cactus in diets of Holstein × Zebu heifers  
 885 in the semiarid region of Brazil. Tropical Animal Health and Production, v. 55, 89, 2023.  
 886 <https://doi.org/10.1007/s11250-023-03506-6>

887 Costa, C. T. F.; Ferreira, M. A.; Campos, J. M. S.; Guim, A.; Silva, J. L.; Siqueira, M. C. B.;  
 888 Barros, L. J. A.; Siqueira, T. D. Q. Intake, total and partial digestibility of nutrients, and  
 889 ruminal kinetics in crossbreed steers fed with multiple supplements containing  
 890 spineless cactus enriched with urea. Livestock Science, v. 188, p. 55–60, 2016.  
 891 <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2016.04.008>

892 Detmann, E. (Org.); Souza, M. A.; Valadares Filho, S. C.; Queiroz, A. C.; Berchielli, T. T.;  
 893 Saliba, E. O. S.; Cabral, L. S.; Ponder, S.; Simioni, T. A. Métodos para análise de  
 894 alimentos: INCT – Ciência Animal. 2. ed. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2021. 350  
 895 p. Disponível em:  
 896 <https://jacad.uniguacu.com.br/academico/biblioteca/acervo/detalhes/39162>. Acesso  
 897 em: 19 jul. 2025.

898 Elsheikh, H. A.; Abo-Donia, F.M.; Nayel, U. A. The impact of substituting corn silage  
 899 with cactus cladodes silage on growth performance and digestibility in sheep rations.  
 900 Journal of Animal and Poultry Production, v. 14, n. 1, p. 83–89, 2023.  
 901 <https://doi.org/10.21608/jappmu.2023.229940.1086>

902 Ferreira, D. F. SISVAR: a computer analysis system to fixed effects split plot type  
 903 designs. *Revista Brasileira de Biometria*, v. 37, n. 4, p. 529–535, 2019.  
 904 <https://doi.org/10.28951/rbb.v37i4.450>

905 Ferreira, M. A. de A.; Valadares Filho, S. de C.; Marcondes, M. I.; Paixão, M. L.; Paulino,  
 906 M. F.; Valadares, R. F. D. Avaliação de indicadores em estudos com ruminantes:  
 907 digestibilidade. *Revista Brasileira de Zootecnia*, V. 38, n. 8, p. 1568–1573. 2009.  
 908 <https://doi.org/10.1590/S1516-35982009000800022>

909 Fergusson, F.; D.T, G.; N, T. Principal descriptors of body condition score in Holstein  
 910 cows. *Journal of Dairy Science*, v. 77, 1994.  
 911 [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(94\)77212-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(94)77212-X)

912 Google Earth. Localização: 15° 43' 53" S, 43° 19' 40" O. Google Earth Pro, versão  
 913 7.3.6.9345. Mountain View: Google, 2025. Disponível em:  
 914 <https://www.google.com/earth/>. Acesso em: 11 jun. 2025.

915 Gao, Q.; He, J.; Wang, J.; Yan, Y.; Liu, L.; Wang, Z.; Shen, W., Wan.F. Effects of dietary  
 916 D-lactate levels on rumen fermentation, microflora, and methane production in beef  
 917 cattle. *Frontiers*, v. 15, 2024.  
 918 <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1348729>

919 Gomes, M. L. R.; Da Silva, J. G. M.; Farias, R. L.; Furtado, D. A.; Lima, H. G.; Silva, F. M. In  
 920 situ ruminal degradability of forage cactus-based diets associated with pornunça  
 921 silage. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 44, n. 2, p. 549–566, 2023.  
 922 <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2023v44n2p549>

923 Guo, W.; Liu, Y.; Na, M.; Zhang, Y.; Na, R. Effects of rumen-degradable starch levels on  
 924 in vitro rumen fermentation and microbial protein synthesis in alfalfa silage.  
 925 *Fermentation*, v. 11, n. 2, 106, 2025.  
 926 <https://doi.org/10.3390/fermentation11020106>

927 Hora, F. F.; Rocha Júnior, V. R.; Moncao, F. P.; Rigueira, J. P. S.; Cordeiro, M. W. S.;  
 928 Caldeira, L. A.; Cruz, F. N. F.; Alencar, A. M. S.; Albuquerque, C. J. B.; Leal, D. B.;  
 929 Carvalho, C. C. S.; Costa, M. D. Nutritional parameters and performance of crossbred  
 930 heifers fed with millet and BRS 716 biomass sorghum silages. *Journal of Applied Animal*  
 931 *Research*, v. 51, p. 74–83, 2023.

932 <https://doi.org/10.1080/09712119.2022.2155172>

933 INCT-CA – Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Ciência Animal. Métodos  
 934 analíticos laboratoriais. Viçosa, MG: UFV, 2012. Disponível em:  
 935 <http://www.inctcienciaanimal.ufv.br/>. Acesso em: 19 jul. 2025.

936 Jesus, F. M. De; Teixeira, F. A.; Jardim, R. R.; Santos, J. P. Dos; Filho, J. R. Dos S.;  
 937 Nascimento, A. A.; Vieira, T. M.; Silva, H. S. Da; Silva, S. N. Da; Porto, E. M. V. Silagem  
 938 de palma forrageira em dieta completa. Research, Society and Development, v. 11,  
 939 e41911932027, 2022. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i9.32027>

940 Johnson, R. A.; Wichern, D. W. Applied multivariate statistical analysis. 6th ed. Upper  
 941 Saddle River: Pearson Prentice Hall, 2007. Disponível em:  
 942 [https://www.numerade.com/books/applied-multivariate-statistical-analysis-2/questions/?utm\\_campaign=performance-max-us-ca-cta&utm\\_term=performance-max-us-ca-cta&utm\\_content=performance-max-us-ca-cta&utm\\_source=google&utm\\_medium=paidsearch&gad\\_source=1&gad\\_campaignid=21891307569&gbraid=0AAAAAB9rz1EvzIXWZBjePnBosrXM8aJhb&gclid=CjwKCAjw2vTFBhAuEiwAFaScwgLYRJmtME1DpVwlzPZIFxvmlhgALGoCxMtFCfwHhV7Iz\\_icLMWIexoCA2wQAvD\\_BwE](https://www.numerade.com/books/applied-multivariate-statistical-analysis-2/questions/?utm_campaign=performance-max-us-ca-cta&utm_term=performance-max-us-ca-cta&utm_content=performance-max-us-ca-cta&utm_source=google&utm_medium=paidsearch&gad_source=1&gad_campaignid=21891307569&gbraid=0AAAAAB9rz1EvzIXWZBjePnBosrXM8aJhb&gclid=CjwKCAjw2vTFBhAuEiwAFaScwgLYRJmtME1DpVwlzPZIFxvmlhgALGoCxMtFCfwHhV7Iz_icLMWIexoCA2wQAvD_BwE). Acesso em set. 2025

949 Kaiser, H. F. The application of electronic computers to factor analysis. Educational and  
 950 Psychological Measurement, v. 20, n. 1, p. 141–151, 1960.

951 Klevenhusen, F.; Zebeli, Q.; A review on the potentials of using feeds rich in water-  
 952 soluble carbohydrates to enhance rumen health and sustainability of dairy cattle  
 953 production. Journal of the Science of Food and Agriculture. V.01, n.14, p. 5737-5746.  
 954 2021. <https://doi.org/10.1002/jsfa.11358>

955 Leão, G. F. M.; Neumann, M.; Rozanski, S.; Durman, T.; Santos, K. dos.; Bueno, A. V. I.  
 956 Nitrogênio uréico no leite: Aplicações na nutrição e reprodução de vacas leiteiras.  
 957 Agropecuária científica no semiárido. V.10, n.2, p.29-36. 2014. Disponível em:  
 958 <file:///C:/Users/Pedro/Downloads/NitrogênioUriconoleite.pdf>

959 Maniaci, G.; Ponte, M.; Giosuè, C.; Gannuscio, R.; Pipi, M.; Gaglio, R.; Grigoli, A. di;  
 960 Bonanno, A.; Alabiso, M. Cladodes of *Opuntia ficus-indica* (L.) as source of bioactive

961 compounds in dairy products. Journal of Dairy Science. V.107, N.4, P.1887-1902. 2024  
 962 <https://doi.org/10.3168/jds.2023-23847>

963 Mertens, D. R. Regulation of forage intake. In: Fahey, G. C. Jr. (Ed.). Forage quality,  
 964 evaluation and utilization. Madison, WI: American Society of Agronomy, 1994. p. 450–  
 965 493.

966 Mezzalana, J. C.; Carvalho, P. C. D. F.; Fonseca, L.; Bremm, C.; Reffatti, M. V. P.; Oli, C. H.  
 967 E. C.; Trindade, J. K. D. Aspectos metodológicos do comportamento ingestivo de  
 968 bovinos em pastejo. Revista Brasileira de Zootecnia, v. 40, p. 1114–1120, 2011.  
 969 <https://doi.org/10.1590/S1516-35982011000500024>

970 National Research Council - NRC. Nutrient requirements of dairy cattle: Eighth Revised  
 971 Edition. Washington, DC: The National Academies Press, 2021.  
 972 <https://doi.org/10.17226/25806>

973 National Research Council - NRC. Nutrient requirements of dairy cattle. 7th rev. ed.  
 974 Washington, DC: National Academies Press, 2001. Disponível:  
 975 [https://nap.nationalacademies.org/catalog/9825/nutrient-requirements-of-dairy-](https://nap.nationalacademies.org/catalog/9825/nutrient-requirements-of-dairy-cattle-seventh-revised-edition-2001)  
 976 [cattle-seventh-revised-edition-2001](https://nap.nationalacademies.org/catalog/9825/nutrient-requirements-of-dairy-cattle-seventh-revised-edition-2001)

977 Neter, J.; Wasserman, W.; Kutner, M. H. Applied linear statistical models: regression,  
 978 analysis of variance, and experimental designs. 2nd ed. Homewood: Richard D. Irwin,  
 979 1985. 1127 p.

980 Oliveira, A. S.; Valadares, R. F. D.; Valadares Filho, S. C.; Cecon, P. R.; Oliveira, G. A.;  
 981 Silva, R. M. N.; Costa, M. A. L. Consumo, digestibilidade aparente, produção e  
 982 composição do leite em vacas alimentadas com quatro níveis de compostos  
 983 nitrogenados não-protéicos. Revista Brasileira de Zootecnia, v. 30, p. 1358–1366, 2001.  
 984 <https://doi.org/10.1590/S1516-35982001000500032>

985 Oliveira, P. V. C. de; Araújo, T. L. A. C. de; Pinedo, L. A.; Lima Júnior, D. M. de; Assis, L.  
 986 C. da S. L. C.; Firmino, S. S.; Pereira, M. W. F.; Lima, P. de O. Silagem mista de sorgo e  
 987 palma forrageira: composição, digestibilidade, fermentação e perdas. Semina: Ciências  
 988 Agrárias, v. 44, n. 2, p. 929–936, 2023.  
 989 <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2023v44n2p929>

990 Ørskov, E. R.; McDonald, I. The estimation of protein degradability in the rumen from  
 991 incubation measurements weighted according to rate of passage. *The Journal of*  
 992 *Agricultural Science*, v. 92, n. 2, p. 499–503, 1979.  
 993 <https://doi.org/10.1017/S0021859600063048>

994 Pastorelli, G.; Serra, V.; Vannuccini, C.; Attard, E.; Opuntia ssp. As alternative fodder for  
 995 sustainable livestock production. *Animals*. V.21, n13 p.1597. 2022.  
 996 <https://doi.org/10.3390/ani12131597>

997 Queiroz, F. E.; Rocha Júnior, V. R.; Monção, F. P.; Rigueira, J. P. S.; Silva, F. V.; Alencar,  
 998 A. M. S.; Cordeiro, M. W. S.; Gomes, V. M.; Carvalho, C. C. S.; Costa, M. D. Effect of  
 999 replacement of forage sorghum silage with biomass sorghum silage in diets for dairy  
 1000 heifers. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 43, p. 121–140, 2022.  
 1001 <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2022v43n1p121>

1002 Ramos, J.C.P., Rocha Júnior, V.R.; Monção, F.P.; Parrela, R.A. da C.; Caxito, A. M.;  
 1003 Cordeiro, M.W.S.; Hora, F.F. da; Pires, D.A. de A.; Effect of replacing forage sorghum  
 1004 silage with biomass sorghum silage in diets for F1 Holstein × Zebu lactating cows. *Trop.*  
 1005 *Anim. Health Prod.* 53, 1-12, 2021.  
 1006 <https://doi.org/10.1007/s11250-020-02503-3>

1007 Rehman, A.; Arif, M.; Saeed, M.; Manan. A.; Al-sagheer, A.; El-hack, M. E.; Swelun, A.  
 1008 A.; Alowaimer, A. N. Nutrient digestibility, nitrogen excretion, and milk production of  
 1009 mid lactation Jersey × Friesian cows fed diets containing different proportions of  
 1010 rumen undegradable protein. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 92, n. 2,  
 1011 2020. <https://doi.org/10.1590/0001-3765202020180787>

1012 Russell, J. B.; Rychlik, J. L. Factors that alter rumen microbial ecology. *Science*, v. 292, n.  
 1013 5519, p. 1119–1122, 2001. DOI: [10.1126/science.1058830](https://doi.org/10.1126/science.1058830)

1014 Silva, D. J.; Queiroz, A. C. *Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos*. 3. ed.  
 1015 Viçosa, MG: Editora UFV, 2012.

1016 Silva, T. S.; Araújo, G. G. L.; Santos, E. M.; Oliveira, J. S.; Godoi, P. F. A.; Gois, G. C.;  
 1017 Perazzo, A. F.; Ribeiro, O. L.; Turco, S. H. N.; Campos, F. S. Intake, digestibility, nitrogen  
 1018 balance and performance in lamb fed spineless cactus silage associated with forages



1019 adapted to the semiarid environment. *Livestock Science*, v. 268, 105168, 2023.  
 1020 <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2023.105168>

1021 Sklan, D.; Ashkenazi, R.; Braun, A.; Devorin, A.; Tabori, K. Fatty acids, calcium soaps of  
 1022 fatty acids, and cottonseeds fed to high yielding cows. *Journal of Dairy Science*, v. 75, p.  
 1023 2463–2472, 1992.  
 1024 [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(92\)78008-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(92)78008-4)

1025 Valadares Filho, S. C.; Broderick, G. A.; Valadares, R. F. D.; Clayton, M. K. Effect of  
 1026 replacing alfalfa silage with high moisture corn on nutrient utilization and milk  
 1027 production. *Journal of Dairy Science*, v. 83, p. 106–114, 2000.  
 1028 [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(00\)74861-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(00)74861-2)

1029 Valadares Filho, S. C.; Detmann, E.; Oliveira, A. S.; Pina, D. S.; Marcondes, M. I.;  
 1030 Chizzotti, M. L. Tabelas brasileiras de composição de alimentos para bovinos. 4. ed.  
 1031 Viçosa: UFV, 2016. 478 p.

1032 Van Soest, P. J. *Nutritional ecology of the ruminant*. 2. ed. Ithaca: Cornell University  
 1033 Press, 1994. 476 p.

1034 Verbic, J.; Chen, X.; Macleod, N. A.; Ørskov, E. R. Excretion of purine derivatives by  
 1035 ruminants: Effect of microbial nucleic acid infusion on purine derivative excretion by  
 1036 steers. *The Journal of Agricultural Science*, v. 114, p. 243–248, 1990.

1037 Véras, R. M. L.; Ferreira, M. de A.; Véras, A. S. C.; Carvalho, F. F. R.; Cavalcanti, C. V. de  
 1038 A.; Santos, G. R. A.; Mendonça, S. de S.; Soares, C. A.; Sampaio, C. B. Substituição do  
 1039 milho por farelo de palma forrageira em dietas para ovinos em crescimento: consumo  
 1040 e digestibilidade. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 34, n.1, p. 351-356, 2009.  
 1041 <https://doi.org/10.1590/S1516-35982005000100040>

1042 Waldo, D. R.; Smith, L. W.; Cox, E. L. Model of cellulose disappearance from the rumen.  
 1043 *Journal of Dairy Science*, v. 55, p. 125–129, 1972.  
 1044 [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(72\)85442-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(72)85442-0)

1045 Wanderley, W. L.; Ferreira, M. A.; Batista, A. M. V.; Véras, A. S. C.; Santos, D. C.;  
 1046 Urbano, S. A. Bispo, S. V. Silagens e fenos em associação à palma forrageira para vacas  
 1047 em lactação: consumo, digestibilidade e desempenho. *Revista Brasileira de Saúde e*

1048 Produção Animal, v. 13, n. 3, 2012. Disponível em:  
1049 <https://www.scielo.br/j/rbspa/a/hgSMM8bwfKSnj6pbS37wMYn/?format=pdf&lang=pt>  
1050 Zhang, J.; Zheng, N.; Shen, W.; Zhao, S.; Wang, J. Synchrony degree of dietary energy  
1051 and nitrogen release influences microbial Community, fermentation, and protein  
1052 synthesis in a rumen simulation system. *Microorganisms*. v.8, n.2, p.231. 2020.  
1053 <https://doi.org/10.3390/microorganisms8020231>  
1054 Zhang, X.; Liu, X.; Xie, K.; Pan, Y.; Liu, F.; Hou, F. Effects of different fiber levels of  
1055 energy feeds on rumen fermentation and the microbial community structure of grazing  
1056 sheep. *BMC Microbiology*, v. 25, Article 180, 2025.  
1057 <https://doi.org/10.1186/s12866-024-03644-3>  
1058

1059 Tabela 1. Composição química bromatológica (g/kg MS<sup>-1</sup>) dos ingredientes usados na  
1060 dieta dos animais.

Item	BRS 716	Palma	Concentrado	Silagens com respectivos níveis de palma forrageira (%)				
	<i>In natura</i>	<i>In natura</i>		0	15	30	45	60
MS	290,06	104,43	941,95	288,13	262,25	234,95	207,08	185,81
MM	65,04	164,24	106,03	72,44	94,65	83,20	109,23	137,46
MO	934,96	835,76	893,97	927,56	905,35	916,80	890,77	862,54
PB	50,61	41,55	248,49	42,71	46,51	42,95	40,57	36,33
EE	23,79	8,84	51,98	22,69	23,56	21,09	21,23	18,85
CT	860,56	785,37	593,50	862,16	835,29	852,77	828,96	807,36
CHOsol	107,30	159,10	183,05	27,00	28,91	30,75	31,40	36,60
CNF	319,74	599,88	447,86	293,67	296,17	326,10	337,48	354,45
MOR	253,04	552,98	54,66	226,97	230,65	262,05	275,28	294,69
FDN	598,49	377,61	194,18	609,20	585,30	568,97	548,24	521,05
FDNcp	540,82	185,49	145,64	568,49	539,12	526,67	491,48	452,91
FDNi	251,67	128,44	33,26	257,68	244,31	235,20	223,64	208,47
FDNpd	346,82	249,17	112,38	351,52	340,99	333,77	324,61	312,58
FDA	372,11	189,40	65,00	372,11	361,20	347,70	330,55	308,06
FDAi	85,24	41,25	13,81	88,17	82,61	79,36	75,23	69,82
Lignina	48,24	34,08	3,44	47,90	47,07	46,34	45,02	43,27
PIDN	23,08	18,10	36,24	19,42	18,91	17,57	18,50	20,49
PIDA	14,71	8,10	33,53	13,02	13,73	13,33	13,73	13,06
NIDN	3,69	2,90	5,80	3,11	3,03	2,81	2,96	3,28
NIDA	2,35	1,30	5,37	2,08	2,20	2,13	2,20	2,09
Amido	66,70	46,90	393,20	66,70	65,05	64,05	62,2	59,76
NDT	539,18	593,32	790,40	582,89	575,50	592,83	579,08	563,89

1061 (0;15; 30; 45 e 60) - Níveis de inclusão da palma forrageira na ensilagem do sorgo biomassa. CNF-  
1062 carboidratos não fibrosos; MS - matéria seca; MM - matéria mineral; MO - matéria orgânica; PB -  
1063 proteína bruta; EE - Extrato Etéreo; CT - carboidratos totais; CHOsol - carboidratos solúveis; mineral  
1064 MOR - matéria orgânica residual; FDN - fibra insolúvel em detergente neutro; FDNcp - fibra insolúvel  
1065 em detergente neutro corrigido para cinzas e proteína; FDNpd - fibra insolúvel em detergente neutro  
1066 potencialmente digestível; FDA - fibra insolúvel em detergente ácido; FDAi - fibra insolúvel em  
1067 detergente ácido indigestível; PIDN - proteína insolúvel em detergente neutro; PIDA - proteína insolúvel  
1068 em detergente ácido; NIDN - nitrogênio insolúvel em detergente neutro; NIDA - nitrogênio insolúvel em  
1069 detergente ácido; NDT - nutrientes digestíveis totais.  
1070

1071 Tabela 2. Composição em ingredientes e composição química das dietas experimentais

Item	Níveis de palma na silagem (%)				
	0	15	30	45	60
<i>Proporção dos ingredientes (g/kg MS<sup>-1</sup>) nas dietas</i>					
Sorgo BRS 716	741,85	696,94	641,73	571,60	480,12
Palma forrageira	0,00	44,26	98,97	168,30	259,18
Milho moído	105,60	105,60	105,60	105,60	105,60
Farelo de soja	134,40	134,40	134,40	134,40	134,40
Ureia/sulfato amônio (9:1)	8,15	8,80	9,30	10,10	10,70
Mistura mineral	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
<i>Composição química das dietas (g/kg MS<sup>-1</sup>)</i>					
MS	459,20	451,44	441,64	429,34	412,89
MM	76,15	80,50	85,90	92,72	101,70
PB	134,34	135,73	136,62	138,20	139,03
EE	29,62	28,94	28,11	27,05	25,68
CT	774,66	770,78	766,23	760,33	752,98
CNF	336,69	348,88	364,05	383,22	408,48
FDN	493,63	483,46	471,08	455,29	434,86
FDNcp	437,97	421,89	402,18	377,11	344,50
FDNi	194,79	189,17	182,30	173,56	162,21
FDA	295,26	286,93	276,75	263,78	246,96
Lignina	36,56	35,90	35,10	34,08	32,76
NDT	59,76	59,96	60,23	60,56	61,02

1072 MS – matéria seca; MM - matéria mineral; PB – proteína bruta; EE extrato etéreo; CT – carboidratos  
1073 totais; CNF- carboidratos não fibrosos; FDN – fibra insolúvel em detergente neutro; FDNcp – fibra  
1074 insolúvel em detergente neutro corrigido para cinzas e proteína; FDNi – fibra insolúvel em detergente  
1075 neutro indigestível; FDA – fibra insolúvel em detergente ácido; NDT – nutrientes digestíveis totais.  
1076 Mistura mineral - cada 1kg de mistura mineral possui: 180 a 200 g de cálcio, 100 g de fósforo, 74 g de  
1077 sódio, 12 g de enxofre, 15 g de magnésio, 200 mg de cobalto, 1.650 mg de cobre, 195 mg de iodo, 1.960  
1078 mg de manganês, 32 mg de selênio, 6.285 mg de zinco e no máximo 1.000 mg de flúor.

1079 Tabela 3. Parâmetros da degradabilidade ruminal da matéria seca e da fibra insolúvel em detergente neutro (FDN) das silagens.

Item	Níveis de palma na silagem (%)					EPM	P-Valor		
	0	15	30	45	60		Trat.	Linear	Quad.
Matéria seca (%)									
Fração “a”	28,48	29,36	30,35	30,90	31,56	0,63	<0,05	<0,05	0,83
Fração “b”	30,75	45,53	49,98	53,43	63,04	0,76	<0,05	<0,05	0,08
Taxa de degrad. “c” %/h	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,001	0,44	0,18	0,26
Degradabilidade potencial	59,23	74,89	80,33	84,33	94,60	1,04	<0,05	<0,05	0,16
Fração indegradável	40,77	25,11	19,67	15,67	5,40	0,58	<0,05	<0,05	0,16
Degradabilidade efetiva – 2%	38,73	44,54	47,01	48,71	52,57	0,55	<0,05	<0,05	0,90
Degradabilidade efetiva – 5%	33,61	36,95	38,68	39,81	42,07	0,46	<0,05	<0,05	0,91
Degradabilidade efetiva – 8%	31,90	34,42	35,90	36,84	38,56	0,43	<0,05	<0,05	0,98
Fibra em detergente neutro (%)									
Fração “C” (%/h)	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,003	0,20	0,55	0,40
Fração “Bp”	64,5	61,72	59,08	74,22	65,12	4,71	0,27	0,37	0,77
Fração “IP”	35,5	38,27	40,91	25,77	34,87	4,71	0,27	0,37	0,77
Degradabilidade efetiva – 2%	27,54	32,86	28,24	30,21	33,61	1,24	0,01	0,03	0,57
Degradabilidade efetiva – 5%	19,25	23,88	19,63	19,21	25,61	0,99	<0,05	0,03	0,07
Degradabilidade efetiva – 8%	16,51	20,29	16,59	15,51	22,9	0,86	<0,05	<0,05	<0,05

1080 EPM – Erro padrão da média; BP = fração potencialmente degradável padronizada; IP = indigestível padronizada; Fração “a”  $y = 28,59 + 0,0513X$ ,  $R^2 = 0,99$ ; Fração  
1081 “b”  $y = 34,04 + 0,48X$ ,  $R^2 = 0,93$ ; Degradabilidade potencial  $y = 62,64 + 0,53X$ ,  $R^2 = 0,94$ ; Fração indegradável  $y = 37,36 - 0,53X$ ,  $R^2 = 0,94$ ; Degradabilidade efetiva MS  
1082 - 2 %  $y = 39,94 + 0,21X$ ,  $R^2 = 0,96$ ; Degradabilidade efetiva MS - 5%  $y = 34,26 + 0,13X$ ,  $R^2 = 0,97$ ; Degradabilidade efetiva MS – 8%  $y = 32,38 + 0,10X$ ,  $R^2 = 0,97$ ;  
1083 Degradabilidade efetiva FDN - 2 %  $y = 28,5975 + 0,063267X$ ; Degradabilidade efetiva FDN - 5%  $y = 19,9085 + 0,053650X$ ; Degradabilidade efetiva FDN – 8%  $y =$   
1084  $18,168857 - 0,134098X + 0,003123X^2$ ;  $P_{max} = 21,47\%$ .

1085

1086 Tabela 4. Consumo e digestibilidade aparente da matéria seca e nutrientes em vacas  
 1087 mestiças submetidas a dietas com silagem mista de sorgo biomassa BRS 716 com  
 1088 níveis crescentes de palma forrageira

Item	Níveis de palma na silagem (%)					EPM	P-Valor		
	0	15	30	45	60		Trat.	Linear	Quad.
Consumo (kg/dia)									
MS	13,36	14,53	13,99	13,61	14,79	0,46	0,17	0,19	0,92
PB	1,78	1,96	1,90	1,77	1,86	0,06	0,13	0,87	0,24
FDNcp	5,61	5,82	5,37	5,01	5,11	0,21	0,05	0,01	0,88
EE	0,44	0,49	0,44	0,41	0,42	0,02	0,01	0,04	0,34
CNF	4,75	5,18	5,30	5,23	5,81	0,17	<0,05	<0,05	0,89
NDT	8,25	8,96	8,37	7,99	8,79	0,31	0,20	0,90	0,74
EM (Mcal/dia)	1,42	1,40	1,34	1,29	1,33	1,24	0,21	0,02	0,39
ELL (Mcal/dia)	18,60	20,20	18,82	17,95	19,77	0,72	0,20	0,97	0,73
Consumo (% PC)									
MS	2,66	2,88	2,81	2,74	2,97	0,11	0,35	0,18	0,97
PB	0,36	0,39	0,38	0,36	0,37	0,01	0,41	0,93	0,34
FDNcp	1,12	1,15	1,08	1,00	1,03	0,05	0,19	<0,05	0,85
EE	0,09	0,10	0,09	0,08	0,09	0,00	0,12	0,09	0,67
CNF	0,94	1,03	1,07	1,06	1,17	0,04	<0,05	<0,05	1,00
NDT	1,65	1,78	1,68	1,60	1,76	0,07	0,36	0,86	0,75
Consumo (% PC <sup>0,75</sup> )									
MS	12,57	13,63	13,27	12,92	14,01	0,50	0,29	0,18	0,97
PB	1,68	1,89	1,80	1,68	1,76	0,02	0,27	0,95	0,30
FDNcp	5,28	5,46	5,10	4,74	4,84	0,22	0,13	0,03	0,85
EE	0,41	0,46	0,42	0,39	0,40	0,02	0,04	0,07	0,35
CNF	4,46	4,86	5,02	4,97	5,51	0,18	0,01	<0,05	0,94
NDT	7,78	8,41	7,93	7,54	8,31	0,32	0,30	0,87	0,76
Digestibilidade (%)									
MS	60,90	60,15	58,45	56,71	59,20	1,67	0,45	0,20	0,31
PB	74,22	71,88	74,61	73,33	73,79	1,25	0,59	0,88	0,74
FDNcp	50,23	49,83	39,56	33,95	42,11	3,19	<0,05	<0,05	0,08
EE	78,41	76,84	74,48	73,57	75,71	1,21	0,06	0,03	0,06
CNF	0,73	0,74	0,77	0,79	0,77	0,01	0,03	0,01	0,20
Escore fecal									
Escore	3,88	3,57	3,80	3,65	3,15	0,2461	0,27	0,86	0,41

1089 MN-matéria natural; EPM-erro padrão médio Trat.-Tratamento; MS- Matéria seca; PB-Proteína bruta;  
 1090 FDNcp- Fibra indigestível em detergente neutro corrigido para cinzas e proteína; EE – extrato etéreo;  
 1091 CNF – carboidratos não fibrosos; NDT- Nutrientes digestíveis totais; ED- energia digestível; EM-energia

1092 metabolizável; ELL-energia líquida de lactação; PC-peso corporal;  $PC^{0,75}$  – peso corporal metabólico ;  
 1093 FDNcp (Kg/ dia)  $y=5,7446-0,012027x$ ,  $R^2=0,71$ ; EE (Kg/dia)  $y=0,4578-0,000667x$ ,  $R^2=0,38$ ; CNF (kg/dia)  
 1094  $y=4,8184+0,014487x$ ,  $R^2=0,83$ ; CNF (%PC)  $y=0,9546+0,0032x$ ,  $R^2=0,87$ ; CNF (%  $P^{0,75}$ )  
 1095  $y=4,5234+0,014733x$ ,  $R^2=0,87$ ; FDNcp (%)  $y=49,5612-0,214227x$ ,  $R^2=0,53$ ; CNF (%)  $y=0,7354+0,00082x$ ,  
 1096  $R^2=0,63$ .

1097 Tabela 5. Balanço de nitrogênio, parâmetros ruminais e produção microbiana em vacas  $\frac{3}{4}$  Holandês  $\times$  Zebu submetidas a dietas com silagem  
 1098 mista de sorgo biomassa BRS 716 com níveis crescentes de palma forrageira.

Item	Níveis de palma na silagem (%)					EPM	P-Valor		
	0	15	30	45	60		Trat.	Linear	Quad.
<i>Balanço de N (g/dia)</i>									
N-ingerido	284,56	313,35	304,07	282,81	297,15	9,22	0,12	0,86	0,25
N-fezes	75,67	89,05	75,74	73,26	77,61	5,25	0,25	0,48	0,72
N-leite	55,53	60,18	61,20	55,43	57,86	2,28	0,28	0,99	0,20
N-urina	0,08	0,03	0,07	0,04	0,04	0,01	0,11	0,16	0,44
N-retido	153,28	164,09	167,06	154,07	161,64	4,71	0,18	0,66	0,21
<i>% do N ingerido</i>									
N-fezes	25,78	28,12	25,39	26,67	26,21	1,25	0,59	0,88	0,74
N-leite	19,74	19,07	20,19	19,63	19,72	0,55	0,71	0,76	0,94
N-urina	0,03	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,04	0,11	0,33
N-retido	54,45	52,81	54,40	53,68	54,05	1,42	0,92	0,99	0,71
<i>Parâmetros ruminais (g/L)</i>									
pH	7,43	7,55	7,38	7,52	7,38	0,06	0,11	0,39	0,34
NH <sub>3</sub>	6,23	9,07	9,07	11,84	8,40	1,29	0,07	0,09	0,05
Ácido málico	80,60	85,68	107,92	91,16	97,66	11,61	0,51	0,29	0,41
Ácido Succínico	4,34	4,04	4,44	3,86	5,17	0,61	0,62	0,46	0,34
Ácido Láctico	11,11	8,16	12,79	14,01	13,96	0,95	<0,05	<0,05	0,51
Ácido Acético	8,20	7,42	9,04	7,83	7,67	0,66	0,47	0,76	0,53
Ácido Propiônico	4,38	3,76	4,42	3,25	3,24	0,59	0,44	0,14	0,78
Ácido Butírico	3,58	2,41	1,46	1,39	0,90	0,79	0,15	0,02	0,45
Etanol	12,63	12,09	14,40	12,60	12,61	1,73	0,90	0,93	0,66
CH <sub>4</sub> (kg/dia)	0,32	0,34	0,33	0,32	0,35	0,01	0,17	0,19	0,83
(Continua...)									

(Continua...)



(Continuação da Tabela 5)

*Produção Microbiana*

Alantoína	182,86	134,52	138,12	141,88	164,29	16,88	0,23	0,58	0,03
Ácido úrico	303,95	193,35	230,23	275,80	295,81	57,90	0,63	0,72	0,22
Derivados Purinas	486,81	327,87	368,34	417,66	460,10	70,43	0,50	0,87	0,13
PA (g/dia)	524,99	337,40	385,59	443,86	493,41	82,72	0,50	0,87	0,12
N microbiano (g/dia)	381,70	245,30	280,33	322,70	358,74	60,14	0,50	0,87	0,13
PB microbiana (g/dia)	2385,61	1533,15	1752,11	2016,87	2242,11	357,88	0,49	0,87	0,12
Eficiência mic. /CMS	169,16	105,17	128,80	147,37	150,91	25,74	0,48	0,94	0,18
Eficiência Mic. /CNDT	280,84	165,88	223,60	254,09	249,87	43,59	0,42	0,85	0,242

1099 MN-matéria natural; EPM-erro padrão médio Trat.-tratamento; N- nitrogênio; NH3 – nitrogênio amoniacal; PA – Purinas absorvidas; PBmic – proteína bruta microbiana.  
 1100 Ácido Lático  $y=9,6966+0,076940x$ ,  $R^2=0,5550$ .

1101 Tabela 6. Comportamento ingestivo de vacas ¾ Holandês x Zebu submetidas a dietas com silagem mista de sorgo biomassa BRS 716 com níveis  
 1102 crescentes de palma forrageira.

Item	Níveis de palma na silagem (%)					EPM	P-Valor		
	0	15	30	45	60		Trat.	Linear	Quad.
Alimentação									
Min/dia	57,40	70,00	65,00	66,50	67,00	3,75	0,20	0,20	0,21
Min/kg MS	21,52	24,49	23,93	25,43	23,41	1,22	0,25	0,23	0,09
Min/kg FDNcp	51,18	61,84	62,67	70,31	69,28	3,85	0,01	0,00	0,26
Ruminação									
Min/dia	107,40	115,10	113,90	112,90	98,50	4,84	0,12	0,20	0,02
Min/kg MS	40,66	40,64	41,77	42,93	34,41	1,55	0,01	0,05	0,01
Min/kg FDNcp	97,05	102,61	109,29	118,58	101,65	5,20	0,06	0,14	0,04
Ócio									
Min/dia	123,20	102,90	108,70	108,60	122,50	7,13	0,19	0,85	0,03
Mastigação									
Número de bolos	645,56	646,76	608,53	666,28	656,92	30,33	0,72	0,66	0,51
Número/dia	36138,55	40239,76	40320,82	39965,35	33307,11	1786,44	0,03	0,30	0,00
Total, horas/dia	13,73	15,42	14,93	14,95	13,79	0,59	0,19	0,85	0,03
Min/bolos	0,85	0,90	0,97	0,87	0,79	0,04	0,04	0,20	0,01
Min/kg MS	62,18	65,13	65,70	68,40	57,82	2,20	0,02	0,44	0,01
Min/kg FDNcp	148,23	164,45	171,95	188,89	170,93	7,99	0,02	0,01	0,06
(Continua...)									

(Continua...)

(Continuação da Tabela 6.)

<i>Número de períodos (n/dia)</i>									
Alimentação	14,70	16,80	14,90	16,70	19,30	1,23	0,08	0,26	0,31
Ruminação	16,80	17,40	17,50	15,70	17,40	0,85	0,54	0,85	0,93
Ócio	24,30	23,70	25,00	22,30	25,80	1,11	0,24	0,65	0,32
<i>Duração de períodos (min)</i>									
Alimentação	196,54	173,91	161,34	180,20	212,51	11,59	0,03	0,31	0,00
Ruminação	116,75	109,17	112,58	100,74	132,25	6,69	0,03	0,29	0,02
Ócio	24,30	23,70	25,00	22,30	25,80	1,11	0,24	0,65	0,32
<i>Eficiência de alimentação</i>									
g MS/hora	2872,17	2533,80	2659,11	2566,73	2718,40	168,85	0,64	0,61	0,24
g FDNcp/hora	1207,81	1016,06	1020,03	946,81	943,64	72,78	0,09	0,01	0,28
<i>Eficiência de ruminação</i>									
Bolos/dia	645,56	646,76	608,53	666,28	656,92	30,33	0,72	0,66	0,51
g MS/hora	1489,99	1542,52	1483,37	1464,81	1918,87	94,78	0,01	0,01	0,02
g FDNcp/hora	629,05	618,64	568,14	539,56	667,49	38,38	0,16	0,99	0,05
<i>Ingestão de água</i>									
L/dia	46,29	38,48	44,09	35,71	28,15	2,030	<0,01	<0,01	0,080

1103 EPM – erro padrão médio; T – Tempo; N° - número; NBR – número de bolos ruminados; TMT - tempo de mastigação total; E – eficiência; Alimentação Min/kg FDNcp  
1104  $y=54,1246+0,297753X$ ,  $R^2=0,85$ ; Ruminação (Min/kg MS)  $y=39,696286+0,255235x-0,005388x^2$ ,  $R^2=0,71$  Pmax= 23,69; Mastigação (Número/dia)  
1105  $y=36045,286629+378,616583x-6,969975x^2$ ,  $R^2=0,95$  Pmax=27,16; Mastigação Min/bolos  $y=0,847657+0,006932x-0,000134x^2$ ,  $R^2=0,90$  Pmax=25,87; Mastigação (Min/kg MS)  
1106  $y=61,379314+0,437418x-0,007901x^2$ ,  $R^2=0,73$  Pmax=27,68; M Min/kg FDNcp  $y=154,9234+0,465607x$ ,  $R^2=0,56$ ; Alimentação (min/dia)  $y=197,436943-2,436499x+0,044856x^2$ ,  
1107  $R^2=0,98$ , Pmax=27,16; Ruminação (min/dia)  $y=118,771771-1,047916x+0,199975x^2$ ,  $R^2=0,62$  Pmax=26,23; Eficiência Ruminação (gMS/hora)  $y=1544,422571-$   
1108  $10,869303x+0,267828x^2$ ,  $R^2=0,76$ , Pmax=20,29; Ingestão de água  $y=46,36-0,26X$ ,  $R^2=0,74$ .

1109 Tabela 7. Desempenho animal, produção e composição do leite em vacas  $\frac{3}{4}$  Holandês x Zebu submetidas a dietas com silagem mista de sorgo  
 1110 biomassa BRS 716 com níveis crescentes de palma forrageira

Item	Níveis de palma na silagem (%)					EPM	P-Valor		
	0	15	30	45	60		Trat.	Linear	Quad.
<i>Desempenho animal</i>									
Peso corporal Final (kg)	498,10	506,50	498,50	495,70	500,10	7,92	0,89	0,79	0,93
Diferença Peso (kg)	0,15	0,72	0,72	0,52	0,43	0,27	0,02	0,31	0,05
ECI	3,17	3,12	3,17	3,07	3,20	0,04	0,27	1,00	0,22
ECF	3,23	3,18	3,15	3,05	3,23	0,04	>0,05	0,38	0,03
Diferença EC	0,05	0,05	-0,03	-0,03	0,03	0,06	0,79	0,50	0,43
Produção de leite (kg)	13,25	13,94	14,25	12,88	13,09	0,45	0,18	0,34	0,13
PL corrigido 3,5 %	12,99	14,16	14,30	13,28	13,16	0,42	0,10	0,69	0,02
Eficiência Alimentar	1,01	0,96	1,02	0,95	0,90	0,03	0,06	0,02	0,286
Gordura (g/100g)	3,45	3,61	3,55	3,70	3,54	0,15	0,83	0,59	0,46
Proteína (g/100g)	2,68	2,77	2,77	2,76	2,83	0,05	0,25	0,05	0,73
Lactose (g/100g)	4,54	4,58	4,55	4,58	4,48	0,26	>0,05	0,10	0,03
NUL (mg/dL)	16,83	16,73	16,80	15,98	13,90	0,70	0,02	<0,05	0,75

1111 EPM – erro padrão médio; ECI – escore corporal inicial; ECF – escore corporal final; EC – escore corporal; PL; produção de leite CCS – contagem de células somáticas; CPP –  
 1112 contagem de padrão em placas; NUL – Nitrogênio uréico do leite; Diferença de peso  $y=0,0005X^2+0,314X+0,2189$ ,  $R^2=0,7936$  pmax= 31,4%; NUL  $y= 17,37 - 0,044067X$ ,  $R^2$   
 1113 = 48,33.

1114 Tabela 8. Análise de custo diário em vacas  $\frac{3}{4}$  Holandês × Zebu alimentadas com silagem  
 1115 mista de sorgo biomassa BRS 716 com níveis crescentes de palma forrageira

Item	Níveis de palma na silagem (%)				
	0	15	30	45	60
<i>Valor dos ingredientes (kg de MS)</i>					
Sorgo BRS 716	0,51	0,48	0,44	0,39	0,33
Palma Forrageira	0,00	0,03	0,06	0,10	0,15
Concentrado	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61
Ureia/sulfato de amônio (9:1)	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04
Valor por Kg de MS	1,157	1,154	1,150	1,144	1,136
CMS (kg/dia)	13,36	14,53	13,99	13,61	14,49
Valor gasto por dia (R\$/dia)	15,46	16,77	16,08	15,57	16,46
Receita em leite (R\$/dia)	36,10	39,36	39,77	36,93	36,58
Receita – Custo (R\$/dia)	20,64	22,59	23,69	21,36	20,12



## 1120 8. Considerações finais

1121 A inclusão da palma forrageira em níveis de até 60% da matéria natural na  
1122 ensilagem com o sorgo biomassa BRS 716 para vacas mestiças em lactação  
1123 demonstrou ser uma alternativa viável do ponto de vista nutricional e produtivo.  
1124 Embora a estratégia tenha promovido alterações no consumo de fibra em detergente  
1125 neutro e carboidratos não fibrosos, não foram observadas modificações no consumo  
1126 de matéria seca, proteína bruta e energia. Consequentemente, a produção e  
1127 composição do leite, bem como o peso corporal e o escore de condição corporal das  
1128 vacas, permaneceram estáveis.

1129 Outro ponto de destaque foi a redução da ingestão voluntária de água à  
1130 medida que a participação da palma na dieta aumentou, evidenciando sua função não  
1131 apenas como fonte de nutrientes, mas também como um recurso estratégico de  
1132 hidratação. Esse aspecto assume relevância especial em regiões onde a disponibilidade  
1133 hídrica é limitada, podendo representar um diferencial importante para a  
1134 sustentabilidade dos sistemas de produção de leite.

1135 Do ponto de vista prático, a utilização da palma forrageira na forma ensilada,  
1136 em associação ao sorgo biomassa, configura-se como uma estratégia para a  
1137 organização do manejo alimentar. Essa prática contribui para diminuir as limitações  
1138 observadas no fornecimento da palma *in natura*, tais como a necessidade de colheita e  
1139 oferta diárias. Ao ser incorporada na forma de silagem, a palma passa a integrar um  
1140 volumoso de maior estabilidade, viabilizando a formação de estoques estratégicos.  
1141 Nesse contexto, os resultados obtidos evidenciam o potencial da associação entre  
1142 palma forrageira e sorgo biomassa para a manutenção da produtividade animal com  
1143 aplicabilidade prática e adequação às condições edafoclimáticas do semiárido.