

Características fermentativas de silagens confeccionadas com diferentes proporções de girassol e *Gliricidia sepium* aditivadas com doses de ácido crítico

*Fermentation characteristics of silages made with different proportions of sunflower and *Gliricidia sepium* added with doses of citric acid*

Barbara Venâncio Barbosa (ORCID 0009-0009-0252-0038), **Eric Haydt Castello Branco van Cleef** (ORCID0000-0003-1656-2502), **Vanessa Cury Galati** *(ORCID0000-0001-9014-550X), **Flávio Hiroshi Kaneko** (ORCID 0000-0002-4287-4529)

Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, MG, Brasil. *Autor para correspondência: vanessa.galati@uftm.edu.br

Submissão: 21 de Novembro, 2024 | Aceite: 22 de Junho, 2025

RESUMO

O objetivo neste estudo foi avaliar as características fermentativas de silagens produzidas com diferentes proporções de girassol e *Gliricidia sepium* aditivadas com doses de ácido cítrico. O material ensilado foi composto por duas culturas, girassol e gliricídia. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 5 x 4, sendo cinco proporções de girassol e gliricídia (100% girassol; 75% girassol e 25% gliricídia; 50% girassol e 50% gliricídia; 25% girassol e 75% gliricídia; e 100% gliricídia) e quatro concentrações de ácido cítrico (0; 0,25; 0,50; 0,75%), com três repetições. Observou-se que os tratamentos com maiores proporções de gliricídia resultaram em menor capacidade de fermentação e em redução dos teores de matéria seca. O pH diminuiu em tratamentos com maiores proporções de gliricídia e ácido cítrico. Ao analisar os valores de carboidratos solúveis, a maior inclusão de gliricídia demonstrou maiores percentuais de carboidratos. A adição de ácido mostrou efeito linear nas perdas de matéria seca. A produção de gás apresentou efeito quadrático para a gliricídia, o tratamento com 75% de inclusão, apresentou a menor produção. Houve efeito quadrático para adição de ácido, em que o tratamento com 0,25% de ácido apresentou a maior produção de gás. A inclusão de gliricídia, na silagem, aumentou linearmente as perdas por gases e para o ácido cítrico. Para análise de nitrogênio amoniacal, observou-se efeito quadrático significativo ($P < 0,05$) para a adição de ácido, com maior média observada nos tratamentos com 0,50% de ácido. O pH final das silagens foi influenciado linearmente pela adição de gliricídia e para o ácido cítrico ($P < 0,0001$). Conclui-se que a inclusão de *Gliricidia sepium* na silagem reduz a capacidade fermentativa e os teores de matéria seca, enquanto a adição de ácido cítrico influencia as perdas por gases e o pH final, demonstrando que os fatores afetam significativamente as características fermentativas das silagens.

PALAVRAS-CHAVE: Conservação de forragem. Ensilagem. *Helianthus annuus*. Leguminosa arbórea.

ABSTRACT

The aim on this study was to assess the fermentative characteristics of silages produced with different proportions of sunflower and *Gliricidia sepium*, supplemented with doses of citric acid. The ensiled material was composed of two crops, sunflower and gliricidia. The experimental design was completely randomized in a 5 x 4 factorial scheme, with five proportions of sunflower and gliricidia (100% sunflower; 75% sunflower and 25% gliricidia; 50% sunflower and 50% gliricidia; 25% sunflower and 75% gliricidia; and 100% gliricidia) and four concentrations of citric acid (0; 0.25; 0.50; 0.75%), with three replications, totaling 60 experimental silos. It was observed that treatments with higher proportions of Gliricidia resulted in lower fermentation capacity and reduced dry matter levels. The pH decreased in treatments with higher proportions of Gliricidia and acid. When analyzing soluble carbohydrate values, higher Gliricidia inclusion demonstrated higher percentages of carbohydrates. The addition of acid showed a linear effect on dry matter losses. Gas

Publisher's Note: UDESC stays neutral concerning jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

production exhibited a quadratic effect for *Gliricidia*, with the treatment with 75% inclusion showing the lowest production. There was a quadratic effect for acid addition, with the 0.25% acid treatment presenting the highest gas production. *Gliricidia* inclusion linearly increased gas losses, and the same occurred for citric acid. For ammoniacal nitrogen analysis, a significant quadratic effect ($P < 0,05$) was observed for acid addition, with the highest mean observed in treatments with 0.50% acid. The final pH of silage was linearly influenced by *Gliricidia* addition ($P < 0,0001$) and linearly for citric acid ($P < 0,0001$). When analyzing CP, no significant differences were observed ($P > 0,05$). It is concluded that the inclusion of *Gliricidia sepium* in the silage reduces fermentative capacity and dry matter content, while the addition of citric acid linearly influences gas losses and final pH, demonstrating that both factors significantly affect the fermentative characteristics of the silages.

KEYWORDS: Ensilage. Forage conservation. *Helianthus annuus*. Legume tree.

INTRODUÇÃO

O rebanho bovino brasileiro contabiliza cerca de 234 milhões de animais, ocupando uma posição de destaque na economia nacional, sendo responsável por atender o mercado interno e externo, onde o sistema de produção é baseado em pastejo, sendo aproximadamente 154 milhões de hectares destinados à atividade (ABIEC 2023).

O Brasil é considerado um dos principais exportadores mundiais de carne bovina, com aproximadamente 2,29 milhões de toneladas exportadas, abastecendo 157 países em todos os continentes. Tais dados ressaltam a relevância da pecuária brasileira em âmbito mundial, segundo informações da Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne (ABIEC 2024).

A alta produtividade da pecuária brasileira está diretamente relacionada à qualidade das pastagens. Pastagens bem manejadas e de alta qualidade proporcionam uma nutrição adequada para os animais, o que resulta em melhor desempenho produtivo.

Dessa forma, o planejamento estratégico de um pecuarista que busca a maior eficiência da sua propriedade, deve prever a conservação de forragens produzidas durante a estação chuvosa para utilizá-las no período de estacionalidade de produção forrageira. Uma das possibilidades de conservação é o processo de ensilagem, que tem por princípio a fermentação anaeróbica da massa ensilada e a consequente manutenção ou potencialização do valor nutritivo do material original. Nesse sentido, há uma variedade de gramíneas e leguminosas, que apresentam potencial para ensilagem, cuja qualidade fermentativa depende, principalmente, do teor de matéria seca, da concentração de carboidratos solúveis e do poder tamponante do material (CÂNDIDO & FURTADO 2020)

Uma das culturas com potencial de uso na alimentação animal, devido às suas características agrônômicas e nutricionais, é o girassol (*Helianthus annuus*). A silagem de girassol apresenta maiores teores proteico e de extrato etéreo, podendo ser utilizada para balancear rações a baixo custo (RODRIGUES et al. 2001).

No entanto, uma das limitações para o uso do girassol na forma de silagem está relacionada ao seu elevado poder tamponante. Logo, é necessário o uso de aditivos, com finalidade de reduzir o pH da massa ensilada e diminuir a ação de microrganismos indesejáveis, reduzindo a capacidade de respiração celular e degradação de proteínas, gerando menores perdas e maior estabilidade aeróbica das silagens (JIANG et al. 2020).

Entre os principais aditivos utilizados na alimentação animal, pode-se destacar os ácidos orgânicos e inorgânicos, que desempenham papel fundamental para a redução do pH, facilitando o processo de fermentação. Esses aditivos criam um ambiente mais favorável para a atividade microbiana, promovendo uma fermentação mais eficiente e melhorando a digestibilidade dos nutrientes (MASSARO JÚNIOR et al. 2020). O ácido cítrico, que é fácil de ser encontrado e é relativamente seguro de ser manipulado pelos produtores rurais, dessa forma, pode ser considerada uma opção de aditivo para ser utilizado no processo de ensilagem.

Outro aspecto restritivo à ensilagem do girassol reside em seu teor de proteína, que oscila em torno de 10% (SANTOS et al. 2020), situando-se abaixo das demandas nutricionais da maioria dos animais ruminantes. Tal condição restringe sua viabilidade como fonte exclusiva de alimento para fins de suplementação. Para contornar essa limitação, torna-se viável a adição de forrageiras leguminosas, as quais apresentam elevados teores de proteína bruta em sua composição, como é o caso da gliricídia, (*Gliricídia sepium*) que pode apresentar de 22 a 30% de MS e de 20 a 30% de proteína bruta (SANTANA et al. 2019).

A *Gliricídia sepium*(Jacq.) Steud., pertence a família Fabaceae, é uma leguminosa arbórea e resistente a seca, que vem sendo considerada uma forrageira de interesse comercial e econômico, além de apresentar potencial para produção de silagem (OLIVEIRA et al. 2018).

Hipotetiza-se que a inclusão de gliricídia na silagem de girassol pode aumentar a quantidade de proteína na silagem, enquanto a adição de ácido cítrico pode melhorar a qualidade geral do processo de ensilagem. Essas mudanças são esperadas para resultar em uma silagem mais nutritiva e com melhor conservação ao longo do tempo. Portanto, o objetivo neste estudo foi avaliar as características fermentativas de silagens produzidas com diferentes proporções de girassol e *Gliricídia sepium* aditivadas com diferentes doses de ácido cítrico.

MATERIAL E MÉTODOS

Descrição do local e detalhes agronômicos

O experimento foi realizado na Fazenda-Escola "Alípio Soares Barbosa," pertencente à Universidade Federal do Triângulo Mineiro, localizada no município de Iturama, Minas Gerais, Brasil. A fazenda está geograficamente localizada à latitude de 19°43'52"S, longitude de 50°14'06"O e altitude de aproximadamente 453 metros. De acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger, a região desfruta de um clima do tipo AW, caracterizado como tropical, com a maior incidência de precipitação entre os meses de outubro e março e menor entre abril e setembro, resultando em média anual de 1266 mm de chuva. A temperatura média anual na região é de 23,5 °C (REBOITA et al. 2015).

O material ensilado foi composto por duas culturas, girassol e gliricídia. A gliricídia utilizada foi estabelecida na área no ano de 2019. As árvores foram submetidas a três cortes anuais, podadas à altura de 0,5 m. Para este estudo, foram utilizados ramos e folhas verdes (parte comestível) oriundas da terceira rebrota das árvores.

Antes do início do período experimental, amostras de solo foram coletadas para avaliação do nível de fertilidade e no momento da semeadura do girassol foram aplicados 250 kg/ha da formulação 8-28-16 de N:P:K e após 60 dias, realizado a adubação de cobertura, com 60 kg/ha de N, através da a formulação 20-0-20 de N:P:K.

A cultura do girassol foi estabelecida em janeiro de 2021. A cultivar escolhida foi a CATISSOL 01, desenvolvida pela Coordenadoria de Assistência Técnica Integral – CATI, e colhida 90 dias após a semeadura, com média de 27% de matéria seca. A semeadura foi manual, obedecendo o espaçamento entre linhas de 0,50 m, apresentando uma população de 100.000 plantas por hectare, sendo necessário conduzir o procedimento de desbaste visando alcançar uma população de 40.000 plantas por hectare.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 5×4 , sendo cinco proporções de girassol e gliricidia (100% girassol; 75% girassol e 25% gliricidia; 50% girassol e 50% gliricidia; 25% girassol e 75% gliricidia; e 100% gliricidia) e quatro concentrações de ácido cítrico (0; 0,25; 0,50; 0,75%), com três repetições, totalizando 60 silos experimentais.

Processo de colheita e ensilagem de plantas

Quando atingido o ponto de colheita, ao apresentarem coloração amarelo-parda e com mais de 50% dos grãos maduros, as plantas de girassol foram colhidas de forma manual e, com auxílio de um triturador forrageiro estacionário elétrico, o material foi processado a fim de se obter homogeneidade no tamanho de partículas (aproximadamente 2 cm). A gliricidia foi cortada observando folhas e caules comestíveis (descartando a parte lenhosa/lignificada), sendo processada como descrito para o girassol (EMBRAPA 2025).

Cada um dos materiais foi pesado separadamente e misturado manualmente, de acordo com a proporção de cada tratamento (na base úmida). O ácido cítrico foi diluído em água deionizada e aplicado à massa utilizando uma seringa plástica com capacidade para 50 mL. No tratamento com 0% de ácido cítrico, foi aplicada a mesma quantidade somente de água. No momento da ensilagem, alíquotas do material original foram amostradas em sacos plásticos e armazenadas em freezer (-15 °C) para realização posterior das análises de carboidratos solúveis, carboidratos redutores, carboidratos totais e do poder tamponante.

Como silos experimentais, foram utilizados sacos plásticos (25 x 15 cm), próprios para armazenamento de alimentos sob vácuo. Para absorção de efluentes foi utilizado um dispositivo absorvente ao fundo de cada saco. Cerca de 300 g de cada tratamento foram inseridos nos sacos, os quais foram submetidos ao vácuo e selados a quente, com auxílio de embaladora a vácuo. Cada silo experimental foi pesado antes da armazenagem e o material foi acondicionado em caixas de papelão e armazenado verticalmente em laboratório, permanecendo nessa condição por um período de 180 dias.

Avaliações dos materiais originais e das silagens

A produção de gases oriundos da fermentação foi mensurada, semanalmente, utilizando um béquer graduado com capacidade para 4 L, completo até 2/3 da sua capacidade, com água deionizada. Os sacos foram imersos e o deslocamento da água

anotado. Por diferença, o volume de gás produzido foi obtido. Após o procedimento, os sacos foram secos e novamente submetidos à vácuo. A avaliação foi realizada até a estabilização na produção de gases. Os dados apresentados representam a quantidade total de gás acumulado no período de ensilagem.

Para avaliação da qualidade fermentativa das silagens, foram utilizadas metodologias descritas por JOBIM et al. (2007). No momento da abertura dos silos, a amostra final foi pesada e separada do dispositivo absorvente. Os conjuntos foram pesados e, assim, estimadas as variáveis perda de gás (PG; Equação 1), perda total de matéria seca (PMS; Equação 2), recuperação da matéria seca (RMS; Equação 3) e perda por efluentes (PE; Equação 4).

$$\text{Perda por gás (PG)} = [(PSf - Psa)] / MSf \quad \text{Eq. 1}$$

em que:

PSf: Peso do silo na ensilagem;

Psa: Peso do silo na abertura;

MSf: Teor de Matéria Seca da forragem na ensilagem.

$$\text{Perda total de matéria seca (PMS)} = [(MSi - MSf)] / MSi \times 100 \quad \text{Eq. 2}$$

em que:

MSi: Quantidade de MS inicial. Peso do silo após enchimento – peso do conjunto vazio, sem a forragem, antes do enchimento x teor de MS da forragem na ensilagem.

MSf: Quantidade de MS final. Peso do silo cheio antes da abertura – peso do conjunto vazio, sem a forragem, após a abertura dos silos x teor de MS da forragem na abertura.

$$\text{Recuperação da matéria seca (RMS)} = (Mfab \times MSab) / (MFfe \times MSfe) \times 100 \quad \text{Eq. 3}$$

em que:

Mfab: massa de forragem na abertura;

MSab: teor de MS na abertura;

MFfe: massa de forragem no fechamento;

MSfe: teor de MS da forragem no fechamento.

$$\text{Perda por efluentes (PE)} = (Pef \times 1000) / MVi \quad \text{Eq. 4}$$

em que:

Pef: peso de efluente (Peso do conjunto vazio após a abertura – peso do conjunto vazio antes do enchimento);

MVi: quantidade de massa verde de forragem ensilada

Os carboidratos solúveis (CHOS) foram avaliados de pelo método fenol-sulfúrico descrito por (DUBOIS et al. 1956). O extrato foi preparado utilizando um Erlenmeyer de 250 mL, onde foram pesados aproximadamente 5 g da amostra. Essa amostra foi imersa em 70 mL de água destilada e o material foi aquecido em banho-maria por 30 min. Em seguida, foi filtrado utilizando um papel de filtro em um balão de 100 mL e o volume completado. Foram reservados 2 mL do extrato diluído, sendo misturados com 1 mL de solução de fenol e 5 mL de ácido sulfúrico. Após um período de repouso de 10 minutos em temperatura ambiente e resfriado em água destilada, a leitura da absorbância da coloração desenvolvida foi realizada em espectrofotômetro (modelo 800 XI, Femto, São Paulo, SP, Brasil), utilizando um comprimento de onda de 490 nm.

O extrato preparado para determinar o teor de carboidratos solúveis, foi usado para determinação dos carboidratos redutores (CHOR). Para isso, 2 mL do extrato devidamente diluído foram transferidos para tubos de ensaio, nos quais foram adicionados 1 mL da solução 3,5-dinitro salicílico (DNS). Os tubos foram então colocados em água fervente por 5 minutos e posteriormente resfriados por três minutos em gelo. Após esse processo, 7,5 mL de água destilada foram adicionados. A absorbância foi medida em um espectrofotômetro a 540 nm.

Para determinação de carboidratos totais (CHOT), o papel de filtro, previamente tarado e contendo os resíduos resultantes da filtragem do extrato utilizado na determinação do teor de carboidratos solúveis, foi submetido à secagem em estufa com circulação fechada de ar, a temperatura de 65 °C, até atingir peso constante. Aproximadamente 5 mg do resíduo foi retirado e adicionado a 25 mL de água destilada e 5 mL de ácido clorídrico. Este material, disposto em um erlenmeyer de 250 mL, foi submetido ao aquecimento a 60-70 °C por uma hora. Posteriormente, foi filtrado para um balão volumétrico de 100 mL, e o volume foi completado com água destilada. Como padrão de referência, foi utilizada uma solução contendo 40 µg de glicose por mL.

Para determinar a capacidade tamponante (CAPT) da forragem foi utilizada metodologia adaptada de PLAYNE & MCDONALD (1966). Brevemente, cerca de 15 g de material fresco foram pesados, macerados em almofariz e adicionados em béqueres contendo 250 mL de água deionizada. Os recipientes foram colocados em agitador e o pH inicial aferido, utilizando um pHmetro digital de bancada (modelo PHS-3E, Ionlab, Araucária, PR, Brasil). A solução foi acidificada com HCl 0,1 N e, após, o pH foi elevado de 3 a 4 utilizando-se NaOH 0,1 N. Posteriormente, o pH foi elevado até 6 e anotado o valor gasto de ácido clorídrico para elevação do pH.

Após a abertura dos silos, 25 g de amostra foram colhidas e diluídas em 225 mL de água deionizada, com auxílio de liquidificador, por cerca de um minuto (KUNG JR et al. 1996). O material foi filtrado utilizando papel filtro quantitativo e o pH imediatamente aferido. Neste extrato, realizou-se a avaliação da concentração de nitrogênio amoniacal por meio do método proposto por BOLSEN et al. (1992). Para isso, 25g da amostra foram pesados em um béquer e, em seguida, adicionados a 200 ml de ácido sulfúrico (0,2 N). Após essa etapa, o béquer foi hermeticamente vedado com filme plástico e mantido em refrigeração por um período de 48 horas.

O preparado resultante foi filtrado e transferido para um frasco plástico, sendo posteriormente armazenado no congelador até poucas horas antes do processo de destilação. No procedimento de destilação, 4 ml do filtrado foram introduzidos no aparelho do tipo micro-Kjeldahl. Adicionalmente, foram acrescentados 10 ml de hidróxido de potássio (2 N), complementados com água destilada até atingir o volume total de 20 ml. Um béquer contendo 10 ml de ácido bórico a 2% foi adaptado para receber o destilado resultante. A destilação foi conduzida até alcançar o volume de 100 ml. Subsequentemente, o destilado foi titulado com ácido clorídrico 0,1N até a observação da mudança de cor desejada. Foram estimados os cálculos do percentual de N-NH₃ na MS total.

A ensilabilidade (CF; Equação 5) do material foi determinada conforme WEISSBACH & HONIG (1996), sendo:

$$\text{Ensilabilidade (CF)} = \text{MS} + 8 * \text{CS/CAPT}$$

Eq. 5

em que,

MS: Matéria Seca;

CS: Carboidratos Solúveis;

CAPT: Capacidade Tamponante - eq mg de HCl/ 100g de MS.

Análise estatística

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 5 × 4, sendo cinco proporções de girassol e gliricídia (100% girassol; 75% girassol e 25% gliricídia; 50% girassol e 50% gliricídia; 25% girassol e 75% gliricídia; e 100% gliricídia) e quatro concentrações de ácido cítrico (0; 0,25; 0,50; 0,75%), com três repetições, totalizando 60 silos experimentais.

Os dados foram testados quanto sua normalidade e homocedasticidade e realizada análise de variância. Foram estudados os efeitos linear e quadrático tanto da adição de gliricídia ao girassol, quanto da adição crescente de ácido cítrico, utilizando o software SAS (Versão 9.4) e a significância foi declarada a 5%.

RESULTADOS

Ao analisar o material original, verificou-se que os tratamentos com maiores proporções de gliricídia apresentaram menor capacidade fermentativa e menores teores de matéria seca. Por outro lado, os tratamentos com 0% de gliricídia demonstraram os maiores valores de matéria seca e capacidade fermentativa. Para a análise de pH, observou-se que os tratamentos com maiores proporções de gliricídia e ácido cítrico apresentaram pH mais baixo, enquanto concentrações mais elevadas de girassol e menores de ácido resultaram em um aumento do pH (Tabela 1).

Tabela 1. Teores de carboidratos solúveis (CHOS), carboidratos redutores (CHOR), carboidratos totais (CHOT), matéria seca (MS), pH, capacidade tamponante (CAPT) e capacidade de fermentação (CF) em função adição de gliricídia (GL) e ácido cítrico (AC).

Table 1. Contents of water-soluble carbohydrates (WSC), reducing carbohydrates (RC), total carbohydrates (TC), dry matter (DM), pH, buffering capacity (BC), and fermentation capacity (FC) as affected by the addition of gliricidia (GL) and citric acid (CA).

GL (%)	AC (%)	CHOS (%)	CHOR (%)	CHOT (%)	MS (%)	pH	CAPT	CF
0	0	1,34	4,24	5,83	29,06	6,16	39,69	29
25	0	1,50	3,07	5,98	26,56	5,93	27,61	27
50	0	1,08	3,03	6,47	25,37	5,78	34,68	26
75	0	1,64	5,37	8,20	24,79	5,55	33,61	25
100	0	2,18	5,90	7,11	21,78	5,75	28,47	22
0	0,25	1,05	1,84	4,50	32,35	6,10	30,71	33
25	0,25	1,26	3,53	5,93	27,90	6,54	32,02	28
50	0,25	1,27	3,46	7,27	25,40	5,33	28,87	26
75	0,25	1,65	5,04	8,03	24,88	5,32	32,16	25
100	0,25	1,40	5,40	8,30	24,34	5,09	35,61	31
0	0,5	1,29	2,96	5,23	30,86	5,29	36,51	31
25	0,5	0,72	1,61	5,93	29,71	5,24	37,70	30
50	0,5	1,47	3,96	8,27	25,72	5,21	34,47	26
75	0,5	1,28	4,27	7,24	24,99	5,07	35,75	25
100	0,5	2,23	5,76	7,40	23,67	4,73	36,90	24
0	0,75	0,69	1,02	6,42	31,38	5,14	32,93	32
25	0,75	1,42	3,68	6,03	27,41	5,00	39,64	28
50	0,75	0,50	1,44	4,04	26,02	4,93	37,41	26
75	0,75	1,84	4,43	7,02	25,10	4,82	37,97	25
100	0,75	1,04	2,65	4,66	24,08	4,54	39,03	24

Ao analisar os valores de CHOS (Tabela 1), torna-se evidente que os tratamentos com maior inclusão de gliricídia apresentaram os percentuais mais elevados de carboidratos. Não foram observadas interações entre os fatores avaliados neste ensaio, de modo que a análise foi conduzida separadamente para cada fator (porcentagem de inclusão de gliricídia e porcentagem de adição de ácido cítrico). Para as análises da silagem, verificou-se um efeito linear da adição de ácido sobre a PMS, Equação 2 ($P < 0,0001$), além de um efeito linear crescente da inclusão de gliricídia. A produção de gás apresentou efeito quadrático para a gliricídia, sendo que o tratamento com 75% de inclusão resultou na menor produção. Além disso, observou-se um efeito quadrático para a adição de ácido, em que o tratamento com 0,25% apresentou a maior produção de gás. Na análise de RMS, Equação 3 ($P < 0,0001$), constatou-se efeito linear tanto para o ácido cítrico quanto para a gliricídia (Tabela 2).

A inclusão de gliricídia aumentou linearmente as perdas por gases, Equação 1 ($P = 0,005$), efeito que também foi observado para o ácido cítrico ($P < 0,05$). Na análise de nitrogênio amoniacal, verificou-se um efeito quadrático significativo ($P < 0,05$) para a adição de ácido, com a maior média registrada nos tratamentos com 0,50% de ácido. O pH final das silagens foi influenciado linearmente tanto pela adição de gliricídia ($P < 0,0001$) quanto pelo ácido cítrico ($P < 0,0001$). Por outro lado, na análise de PE, Equação IV, não foram observadas diferenças significativas ($P > 0,05$).

Tabela 2. Qualidade e perdas fermentativas de silagens com diferentes proporções de girassol e gliricídia aditivadas com até 0,75% de ácido cítrico**Table 2.** Fermentation losses and quality of silages with different proportions of sunflower and gliricidia supplemented with up to 0.75% citric acid.

Gliri- cídia	Giras- sol	Ácido				Média	EPM	P-valor*							
		0,0	0,25	0,50	0,75			GL	AC	GLxA C	L _{GL}	Q _{GL}	L _{AC}	Q _{AC}	
Perda de matéria seca (%)															
0	100	0,58	9,55	9,57	16,49	9,05									
25	75	0,79	7,99	13,66	10,77	8,31									
50	50	3,69	8,24	12,34	17,30	10,39	0,66	0,06	<0,0001	0,12	0,01	0,99	<0,0001	0,12	
75	25	6,28	9,57	12,08	13,76	10,42									
100	0	0,0	14,63	12,49	15,72	10,71									
Média		2,27	9,99	12,03	14,81										
EPM			0,59												
Recuperação de matéria seca (%)															
0	100	99,42	90,45	90,42	83,51	90,95									
25	75	99,21	92,00	86,34	89,23	91,70									
50	50	96,30	91,76	87,66	82,70	89,61	0,66	0,06	<0,0001	0,12	0,01	0,99	<0,0001	0,12	
75	25	93,72	90,43	87,92	86,24	89,58									
100	0	100,00	85,37	87,51	84,28	89,29									
Média		97,73	90,00	87,97	85,19										
EPM			0,59												
Perda por efluente (kg/t MV)															
0	100	20,00	20,00	20,43	19,98	19,70									
25	75	22,66	25,24	18,80	14,03	20,18									
50	50	20,61	22,80	19,97	18,80	20,25	2,16	0,94	0,03	0,06	0,55	0,67	0,07	0,62	
75	25	24,86	17,39	24,92	18,83	21,49									
100	0	25,79	11,19	28,30	16,61	20,47									
Média		22,63	19,16	22,49	17,65										
EPM			2,04												
Perdas por gases (%)															
0	100	0,23	0,23	0,22	0,26	0,23									
25	75	0,25	0,25	0,28	0,53	0,33									
50	50	0,29	0,28	0,30	0,36	0,31									
75	25	0,26	0,30	0,29	0,33	0,30	0,03	0,008	0,0007	0,31	0,005	0,55	0,0007	0,06	
100	0	0,33	0,35	0,29	0,46	0,36									
Média		0,27	0,28	0,28	0,39										
EPM			0,03												
Produção de gás (mL)															
0	100	2023	2120	1753	1854	1938									
25	75	1818	1943	2081	2025	1967									
50	50	1618	1784	1815	1755	1743	41,47	<0,0001	0,04	0,15	<0,0001	0,69	0,23	0,01	
75	25	1273	1513	1703	1581	1517									
100	0	1575	1718	1528	1494	1579									
Média		1662	1816	1776	1742										
EPM			37,09												
Nitrogênio amoniacal (%MS)															
0	100	0,85	0,68	0,60	1,02	0,79									
25	75	0,72	0,80	1,11	0,83	0,87									
50	50	0,58	0,77	0,68	0,55	0,64	0,06	0,005	0,0012	0,10	0,29	0,78	0,04	0,0008	
75	25	0,48	0,81	1,49	0,71	0,87									
100	0	0,62	0,92	0,66	0,61	0,70									
Média		0,65	0,80	0,91	0,75										
EPM			0,05												
pH final															
0	100	4,53	4,56	4,52	4,50	4,53									
25	75	4,51	4,52	4,50	4,53	4,51									
50	50	4,50	4,48	4,45	4,43	4,46	0,01	<0,0001	0,0001	0,12	<0,0001	0,06	<0,0001	0,49	
75	25	4,38	4,43	4,38	4,34	4,38									
100	0	4,43	4,39	4,24	4,24	4,33									
Média		4,47	4,47	4,41	4,41										
EPM			0,01												

*GL = gliricídia, AC = ácido cítrico, GLxAC = interação proporções de gliricídia e concentrações de ácido cítrico, LGL = efeito linear da adição de gliricídia, QGL = efeito quadrático da adição de gliricídia, LAC = efeito linear da adição de ácido cítrico, QAC = efeito quadrático da adição de ácido cítrico.

DISCUSSÃO

O menor valor encontrado em ensilabilidade, associado aos teores reduzidos de MS nos tratamentos com maiores proporções de glicídica, corrobora as conclusões de RÊGO et al. (2010), que sugerem que materiais com baixa porcentagem de matéria seca costumam resultar em ensilagem menos eficiente. Isso acontece porque eles oferecem uma menor quantidade de substrato fermentável, o que pode prejudicar o processo de fermentação. Além disso, o alto teor de umidade nesses materiais pode aumentar as perdas durante a fermentação, dificultando a conservação adequada do produto.

A ensilagem de forragens é uma prática comum em sistemas de alimentação de ruminantes que se baseia na fermentação de carboidratos solúveis presentes no material, em ácidos orgânicos, levando à redução do pH e à preservação da qualidade nutricional do material ensilado (BERNARDI et al. 2019). No entanto, é importante ressaltar que um pH final baixo não garante, por si só, a estabilidade da silagem. O fator determinante para a adequada conservação do material é a velocidade da queda do pH, sendo esta a principal responsável pela inibição dos microrganismos anaeróbios indesejáveis durante o processo fermentativo.

Conforme destacado por MUCK et al. (2018), a associação entre valores de pH e teores de matéria seca é um critério fundamental para a avaliação da qualidade da silagem. Em materiais com maior teor de matéria seca, o pH torna-se menos determinante para a estabilidade fermentativa, permitindo a obtenção de silagem de boa qualidade mesmo com valores de pH relativamente mais elevados (Tabela 1). No presente estudo, a tendência de aumento do pH em tratamentos com maiores concentrações de girassol pode estar associada aos teores mais elevados de proteína observados, o que reduz a relação entre carboidratos solúveis e compostos nitrogenados, influenciando diretamente a acidificação da silagem (EVANGELISTA et al. 2001).

Durante a ensilagem, os carboidratos solúveis representam o principal substrato para garantir uma fermentação eficiente. De acordo com ZHANG et al. (2010), o teor desses carboidratos é um indicador crucial da qualidade da forragem para ensilagem, sendo necessária uma concentração mínima de 3,0% na matéria seca para uma fermentação adequada. No entanto, há uma relação inversa entre a necessidade de carboidratos solúveis e o teor de matéria seca do material, como relatado na meta-análise conduzida por RIDLA et al. (2024). Esses autores observaram que forragens com baixos teores de matéria seca requerem um conteúdo mais elevado de carboidratos solúveis para garantir uma fermentação eficiente, enquanto materiais com maior teor de matéria seca podem apresentar menor exigência de CHOS sem comprometer a qualidade da silagem. Essa relação foi confirmada no presente estudo (Tabela 1), no qual os tratamentos com menores valores de CHOS apresentaram os maiores teores de MS.

A adição de ácido na silagem influenciou linearmente as perdas de matéria seca (Tabela 2), corroborando os achados de OLIVEIRA et al. (2009), que relataram que essas perdas podem estar associadas ao aumento da produção de gás resultante da fermentação por microrganismos produtores de CO₂. Esse fenômeno também foi

observado neste estudo, onde a maior adição de ácido cítrico levou a um incremento nas perdas gasosas.

Esperava-se que a inclusão de ácido resultasse em silagens de melhor qualidade, uma vez que a acidificação inicial poderia favorecer uma fermentação mais eficiente. No entanto, após a abertura dos silos, verificou-se uma redução do pH em todos os tratamentos, variando entre 4,24 e 4,56, com média de 4,44. De acordo com PENG et al. (2021), o pH observado é superior ao intervalo considerado ideal para silagens (3.8–4.2), indicando que a acidificação inicial não foi suficiente para promover uma fermentação altamente eficiente.

O efeito quadrático observado para N-NH₃ sugere a degradação proteica durante o processo de ensilagem, o que pode comprometer a qualidade da silagem. Os compostos resultantes dessa degradação, além de reduzirem a palatabilidade e a ingestão pelos animais, apresentam baixa eficiência na utilização de nitrogênio pelos ruminantes. Além disso, a maior liberação de compostos nitrogenados pode retardar a queda do pH, como observado no tratamento com 0,50% de ácido, impactando negativamente a estabilidade fermentativa da silagem.

CONCLUSÃO

A incorporação de gliricídia na silagem de girassol reduz o pH, mas aumenta as perdas por gases e matéria seca. Da mesma forma, a adição de ácido cítrico diminui o pH e as perdas por gases, porém eleva as perdas de matéria seca. Como os efeitos desses fatores se mostraram independentes, o balanceamento adequado de cada um é essencial para otimizar a qualidade da silagem, considerando os objetivos nutricionais e as condições de produção. Para o produtor, isso implica na necessidade de avaliar o custo-benefício do uso desses aditivos, já que perdas excessivas de matéria seca impactam diretamente a eficiência e rentabilidade do sistema de produção.

CONTRIBUIÇÕES DO AUTOR

Conceitualização, metodologia e análise formal, Bárbara Venâncio Barbosa e Eric Haydt Castello Branco van Cleef; software e validação; investigação Bárbara Venâncio Barbosa e Eric Haydt Castello Branco van Cleef; recursos e curadoria de dados, Bárbara Venâncio Barbosa e Eric Haydt Castello Branco van Cleef; redação - preparação do rascunho original, Vanessa Cury Galati; redação - revisão e edição, Vanessa Cury Galati e Flávio Hiroshi Kaneko; visualização, Bárbara Venâncio Barbosa; supervisão, Eric Haydt Castello Branco van Cleef; Vanessa Cury Galati e Flávio Hiroshi Kaneko, administração do projeto, Bárbara Venâncio Barbosa e Eric Haydt Castello Branco van Cleef; obtenção de financiamento, Eric Haydt Castello Branco van Cleef. Todos os autores leram e concordaram com a versão publicada do manuscrito.

FINANCIAMENTO

Este trabalho foi apoiado por PIBIC/CNPq, edital nº 11/2022/PROPPG/UFTM.

DECLARAÇÃO DO CONSELHO DE REVISÃO INSTITUCIONAL

Não aplicável a estudos que não envolvam humanos ou animais.

DECLARAÇÃO DE CONSENTIMENTO INFORMADO

Não aplicável porque este estudo não envolveu humanos.

DECLARAÇÃO DE DISPONIBILIDADE DE DADOS

Os dados podem ser disponibilizados mediante solicitação.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao CNPq pela bolsa de estudos concebida a discente Bárbara Venâncio Barbosa.

CONFLITOS DE INTERESSE

Não há conflitos de interesse

REFERÊNCIAS

- ABIEC. 2023. Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne. Beef Report. Disponível em: < <https://www.abiec.com.br/>>. Acesso em 10 set. 2024
- ABIEC. 2024. Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne. Censo Agropecuário. Disponível em: < <https://www.abiec.com.br/>>. Acesso em 08 abril. 2024
- BERNARDI A et al. 2019. A meta-analysis examining lactic acid bacteria inoculants for maize silage: effects on fermentation, aerobic stability, nutritive value and livestock production. *Grass and Forage Science* 74: 596–612.
- BOLSEN KK et al. 1992. Effect of silage additives on the microbial succession and fermentation process of alfalfa and corn silages. *Journal of Dairy Science* 75: 3066-3083.
- CÂNDIDO MJDD & FURTADO RN. 2020. Estoque de forragem para a seca: produção e utilização da silagem. E-book. Fortaleza: Imprensa universitária.
- DUBOIS M et al. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical chemistry* 28: 350-356.
- EMBRAPA. 2025. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Colheita. Disponível em: <<http://cnpso.embrapa.br/producaogirassol/colheita.htm>>. Acesso em: 10 fev. 2025.
- EVANGELISTA AR et al. 2001. Aditivo na ensilagem de Coast cross (*Cynodon dactylon* Pers). Farelo de trigo e pré-secagem. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 38., 2001, Piracicaba. Anais... Piracicaba: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 71-72.
- JIANG F et al. 2020. Treatment of whole-plant corn silage with lactic acid bacteria and organic acid enhances quality by elevating acid content, reducing pH, and inhibiting undesirable microorganisms. *Front. Microbiol.* 11: 1-10.
- JOBIM CC et al. 2007. Avanços metodológicos na avaliação da qualidade da forragem conservada. *Revista Brasileira de Zootecnia* 36: 101-119.

- KUNG JR L. 1996. Preparation of silage water extracts for chemical analyses. Standard operating procedure. 6.ed. Newark: University of Delaware.
- MASSARO JUNIOR FL et al. 2020. Effect of storage time and use of additives on the quality of grape pomace silages. *Journal Food Processing and Preservation* 44: e14373.
- MUCK RE et al. 2018. Silage review: Recent advances and future uses of silage additives. *Journal of Dairy Science* 101: 3980–4000.
- OLIVEIRA APD et al. 2018. Effect of ensiling gliricidia with cassava on silage quality, growth performance, digestibility, ingestive behavior and carcass traits in lambs. *Animal Feed Science and Technology* 241: 198-209.
- OLIVEIRA HC et al. 2009. Perdas e valor nutritivo da silagem de capim-tanzânia amonizado com uréia. *Archivos de Zootecnia* 58: 195-202.
- PENG C et al. 2021. Isolation, identification and utilization of lactic acid bacteria from silage in a warm and humid climate area. *Scientific Reports* 11: 12586.
- PLAYNE MJ & MCDONALD P. 1966. The buffering constituents of herbage and of silage. *Journal Science Food and Agriculture* 17: 264-268.
- REBOITA MS et al. 2015. Aspectos climáticos do estado de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Climatologia* 17: 206- 225.
- RÊGO MMT et al. 2010. Chemical and bromatological characteristics of elephant grass silages with the addition of dried cashew stalk. *Revista Brasileira de Zootecnia* 39: 255-261.
- RIDLA M et al. 2024. Effects of wilting on silage quality: A meta-analysis. *Animal Bioscience* 37: 1185–1195.
- RODRIGUES PHM et al. 2001. Efeito do inoculantes microbianos sobre a composição química e fermentativa da silagem de girassol produzidas em silos experimentais. *Revista Brasileira de Zootecnia* 30: 169-175.
- SANTANA JSC et al. 2019. Características fermentativas, composição química e fracionamento da proteína da silagem de gliricídia submetida a diferentes períodos de fermentação. *Boletim de Indústria Animal* 76: 1-9.
- SANTOS CBD et al. 2020. Production and quality of sunflower and Paiaguas palisadegrass silage in monocropped and intercropping in different forage systems. *Acta Scientiarum. Animal Sciences* 42: e48304.
- WEISSBACH F & HONING H. 1996. Über die Vorhersage und Steuerung des Gärungsverlaufs bei der Silierung von Grünfütter aus extensivem Anbau. *Landbauforschung Völkenrode* 46: 10-7.
- ZHANG J et al. 2010. Relationships between the addition rates of cellulase or glucose and silage fermentation at different temperatures. *Animal Science Journal* 81: 325–330.