














Perfil fermentativo, valor nutricional e estabilidade aeróbia de silagens mistas de capim-elefante e cunhã

Fermentation profile, nutritional value and aerobic stability of mixed elephant grass and butterfly pea silages

Crislane de Souza Silva¹ , Aicanã Santos de Miranda¹ , Judicael Janderson da Silva Novaes¹ , Cleyton de Almeida Araújo¹ , Amélia de Macedo¹ , Janiele Santos de Araújo¹ , Deneson Oliveira Lima¹ , João Virgínio Emerenciano Neto² , Glayciane Costa Gois^{*3} , Gherman Garcia Leal de Araújo⁴ , Fleming Sena Campos³ 

1 Programa de Pós Graduação em Ciência Animal. Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), Petrolina, Pernambuco, Brasil

2 Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Natal, Rio Grande do Norte, Brasil

3 Programa de Pós Graduação em Ciência Animal. Universidade Federal do Maranhão (UFMA), Chapadinha, Maranhão, Brasil

4 Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Embrapa Semiárido, Petrolina, Pernambuco, Brasil

*Autor correspondente: glayciane_gois@yahoo.com.br

Resumo: Objetivou-se avaliar o efeito da inclusão de cunhã na dinâmica fermentativa, qualidade nutricional e estabilidade aeróbia de silagens mistas de capim-elefante. Níveis de cunhã (0, 20, 40, 60 e 80% na matéria natural) foram adicionados às silagens de capim-elefante. Adotou-se o delineamento inteiramente casualizado, com 5 tratamentos e 3 repetições, totalizando 15 silos experimentais, que foram abertos após 30 dias de fermentação. A inclusão de cunhã nas silagens de capim-elefante resultou em efeito quadrático para permeabilidade, densidade, pH máximo, pH final, tempo para atingir a temperatura máxima e estabilidade aeróbia ($P < 0,05$). Níveis de inclusão de cunhã aumentaram a recuperação de matéria seca, pH, matéria seca, matéria orgânica, extrato etéreo, proteína bruta e nutrientes digestíveis totais ($P < 0,001$) e reduziram as perdas por gases e efluentes, matéria mineral, fibra em detergente neutro, fibra em detergente ácido, hemicelulose, celulose, lignina e carboidratos totais ($P < 0,001$). As inclusões de 40, 60 e 80% de cunhã proporcionaram aumentos de temperatura às 10, 20, 30 e 40 horas. A inclusão de cunhã em teores de até 80% reduz as perdas na fermentação, permite incremento nutricional e aumento da estabilidade aeróbica das silagens.

Palavras-chave: dinâmica da fermentação; silagem de leguminosas

Abstract: The aim was to evaluate the effect of butterfly pea inclusion on the fermentation dynamics, nutritional quality and aerobic stability of mixed elephant grass silages. Butterfly pea levels (0, 20, 40, 60 and 80% on a natural matter basis) were added to elephant grass silages. A completely randomized design was adopted, with 5 treatments and 3 replications, totaling 15 experimental silos, which were opened after 30 days of fermentation. The inclusion of butterfly pea in elephant grass silages resulted in a quadratic effect for permeability, density, maximum pH, final pH, time to reach maximum temperature and aerobic stability ($P < 0.05$). Butterfly pea inclusion levels increased dry matter recovery, pH,

Recebido: 12 de agosto, 2023. Aceito: 05 de janeiro, 2024. Publicado: 11 de março, 2024.

dry matter, organic matter, ether extract, crude protein and total digestible nutrients ($P<0.001$) and reduced gas and effluent losses, mineral matter, neutral detergent fiber, acid detergent fiber, hemicellulose, cellulose, lignin and total carbohydrates ($P<0.001$). Inclusions of 40, 60 and 80% of butterfly pea provided temperature increases at 10, 20, 30 and 40 hours. The inclusion of butterfly pea with levels of up to 80% reduces fermentation losses, allows for a nutritional increase and increase in aerobic stability of silages.

Keywords: fermentation dynamics; legume silage

1. Introdução

As gramíneas tropicais são amplamente utilizadas para fazer silagem. O capim elefante (*Pennisetum purpureum* Schum) é uma gramínea amplamente utilizada na produção de ruminantes em regiões tropicais devido ao seu grande potencial de produção de matéria seca, alta capacidade de rebrota, boa adaptação às diferentes condições climáticas e boa aceitação pelos animais⁽¹⁾.

No entanto, embora o capim elefante apresente valor nutricional considerado ideal para o processo fermentativo, possui baixo teor de matéria seca, o que influencia diretamente no aumento da capacidade tampão e dos carboidratos hidrossolúveis⁽²⁾. Essas características comprometem a eficiência fermentativa na silagem, pois o alto teor de umidade favorece a ocorrência de fermentações secundárias, provocadas por bactérias do gênero *Clostridium* sp.⁽³⁾. Além disso, o alto teor de carboidratos solúveis degradados resulta na produção de ácido butírico e liberação de amônia, prejudicando a qualidade da silagem e reduzindo seu valor nutricional⁽⁴⁾, com perdas da fração mais digestível da planta, ocasionando aumento dos componentes da fração fibrosa durante a percolação dos efluentes⁽⁵⁾.

O emprego de aditivos absorventes no processo de ensilagem de gramíneas tropicais tem sido uma das principais tecnologias adotadas para elevar o teor de matéria seca e, assim, reduzir as perdas frequentemente encontradas nessas silagens⁽⁶⁾. Dentre os aditivos comumente usados, as leguminosas vêm ganhando papel de destaque, em virtude dos seus atributos físico-químicos que melhoram as características fermentativas e nutricionais da silagem. Nessa perspectiva, a utilização da cunhã (*Clitoria ternatea* L.) torna-se uma excelente opção para a ensilagem de capim elefante.

A cunhã é uma leguminosa amplamente distribuída em regiões tropicais e subtropicais, que apresentam boa adaptabilidade ao clima e ao solo do semiárido brasileiro, com elevada produção de matéria seca nesta região (aproximadamente 4,2 toneladas por hectare)⁽⁷⁾. Além da persistência, essa leguminosa forrageira apresenta alto valor nutritivo, com elevados teores de matéria seca (351,2 g/kg de matéria natural), proteína bruta (162,3 g/kg de matéria seca) e fibra em detergente neutro (617,0 g/kg de matéria seca)⁽⁸⁾, e compostos bioativos antioxidantes e bactericidas, que podem modificar a fermentação das silagens, melhorando a qualidade da massa ensilada⁽⁹⁾. Com base no exposto, é possível inferir que a utilização da cunhã como aditivo absorvente no processo de ensilagem de gramíneas tropicais, como o capim elefante, permite aumentar os teores de matéria seca e, assim, reduzir as perdas fermentativas, melhorando as características nutricionais da silagem.

Portanto, com base na hipótese de que a cunhã pode garantir a preservação e a qualidade da silagem de capim elefante, objetivou-se avaliar os efeitos da inclusão de níveis de cunhã na dinâmica fermentativa, características nutricionais e na estabilidade aeróbia da silagem de capim elefante.

2. Material e métodos

O experimento foi conduzido na Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), Campus de Ciências Agrárias, Petrolina, Pernambuco, Brasil (processo de ensilagem) e na Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Semiárido, Petrolina, Pernambuco, Brasil (análises laboratoriais). O clima da região é semiárido quente, segundo a classificação climática de Köppen⁽¹⁰⁾. Durante o período experimental foram observadas temperaturas máximas e mínimas de 33,56 °C e 26,14 °C, com umidade relativa entre 73,56% e 58,10% respectivamente, com evapotranspiração média de 4,06 mm e precipitação média anual de 376 mm.

Foram avaliados cinco níveis de cunhã (0; 20; 40; 60 e 80 % com base na matéria natural) em silagens de capim elefante, em delineamento inteiramente casualizado, com 5 tratamentos e 3 repetições, totalizando 15 silos experimentais.

O capim elefante cv. Camerom (*Pennisetum purpureum* Schum) utilizado para a confecção da silagem foi oriundo de uma capineira já estabelecida após 60 dias de rebrota. O capim foi cortado manualmente a 10 cm do solo, com aproximadamente 190 cm de altura. A cunhã (*Clitoria ternatea* Linn) foi proveniente de uma área experimental já estabelecida há 36 meses e utilizada como banco de proteínas. Foram colhidos ramos com 15 mm de espessura (medidos com paquímetro digital). Os cortes foram feitos a 120 cm do solo. Todo o material foi processado em forrageira estacionária (PP-35, Pinheiro Máquinas, Itapira, São Paulo, Brasil). Amostras de capim elefante e cunhã foram avaliadas quanto ao tamanho médio de partícula utilizando o conjunto de peneiras "State Particle Size Separator" (SPSS) com diâmetros de 19.0; 8.0 e 4.0 mm de porosidade e uma caixa de fundo⁽¹¹⁾. Amostras do material processado (300g) foram coletadas para análises químicas (Tabela 1).

Tabela 1 Partículas e composição química do capim elefante e cunhã antes do processo de ensilagem.

Tamanho da partícula	Capim elefante	Cunhã
>19 mm	24,23	46,58
9 - 19 mm	47,15	42,02
4 - 8 mm	15,43	5,52
< 4 mm	12,07	4,36
Composição química (g/kg MS)		
Matéria seca*	287,68	362,34
Matéria mineral	66,07	62,65

Matéria orgânica	933,92	937,34
Extrato etéreo	21,70	28,43
Proteína bruta	60,78	161,35
Fibra em detergente neutro	770,38	589,09
Fibra em detergente ácido	487,88	395,59
Hemicelulose	282,50	193,50
Celulose	466,49	373,22
Lignina	21,39	22,37
Carboidratos totais	851,44	747,56
Carboidratos não fibrosos	81,06	185,46
Nutrientes digestíveis totais	339,13	466,03

MS- matéria seca; *em g/kg matéria natural

O material foi misturado conforme os tratamentos e ensilado em silos experimentais de policloreto de vinila (PVC) (10 cm de diâmetro, 50 cm de altura), equipados com válvula Bunsen para permitir o escape dos gases durante a fermentação. Para quantificar os efluentes produzidos foi depositado 1 kg de areia seca no fundo dos silos. A areia foi protegida por um tecido de algodão, de forma que o material ensilado não entrasse em contato com a areia, permitindo o escoamento do efluente. Depois de lacrados, os silos permaneceram em galpão coberto por 30 dias.

Os silos foram pesados vazios, após a ensilagem e pesados novamente 30 dias após a ensilagem, no momento da abertura. Após a pesagem, as camadas superior e inferior (10 cm) das silagens foram descartadas. A densidade (D), perdas por efluentes (PE), perdas por gases (PG) e a recuperação de matéria seca (RMS) foram estimadas segundo Jobim et al.⁽¹²⁾. A porosidade (POR, em μm) e a permeabilidade (K, em μm^2) foram estimadas segundo Williams⁽¹³⁾. Para avaliar o perfil fermentativo, foram medidas a temperatura interna (T, em $^{\circ}\text{C}$) e a temperatura do painel do silo (TP, em $^{\circ}\text{C}$) no momento da abertura com auxílio de um termômetro digital infravermelho (Benetech, Rio de Janeiro – RJ, Brasil). O pH foi mensurado segundo AOAC⁽¹⁴⁾, enquanto nitrogênio amoniacal (NH₃-N, em % N total) e capacidade tampão (CT, em E.mgNaOH/100g MS) foram avaliados segundo Mizubuti et al.⁽¹⁵⁾.

A estabilidade aeróbia (EA, expressa em horas) foi avaliada pela metodologia de Kung Junior⁽¹⁶⁾ na qual foram utilizados recipientes plásticos com capacidade de 4 L representando cada unidade experimental. Os recipientes continham aproximadamente 2 kg de forragem e foram mantidos em sala fechada, sob temperatura controlada de 24 ± 1 $^{\circ}\text{C}$. A deterioração da silagem foi reconhecida quando a temperatura interna excedeu a do ambiente circundante em 2 $^{\circ}\text{C}$ ⁽²⁾. A temperatura interna foi medida em intervalos de duas horas durante 96 horas com termômetro digital (GULterm 180 – Gulton do Brasil Ltda.), inserindo a ponta de

ação inoxidável no centro da silagem. Durante o teste de estabilidade, o pH foi medido em intervalos de 6 horas⁽¹⁷⁾. O pH máximo registrado após a abertura dos silos (pH máximo), pH final, tempo para atingir o pH máximo (TpH máximo, em horas), temperatura máxima após a abertura dos silos (TM, em °C), tempo para atingir a temperatura máxima (TTM, em horas), diferença máxima entre a temperatura da silagem e a temperatura ambiente (DTS, em °C), a soma da diferença máxima entre a temperatura da silagem e a temperatura ambiente (Σ DT, em °C), e o tempo para a exibição da temperatura da silagem tendência de alta (STUT, em horas) foram analisadas segundo Tao et al.⁽¹⁸⁾.

As análises químicas foram realizadas utilizando os procedimentos descritos pela Association of Analytical Chemists⁽¹⁴⁾ para determinação de matéria seca (MS; método 967.03), matéria mineral (MM; método 942.05), proteína bruta (PB; método 981.10) e fibra em detergente ácido (FDA; método 973.18). O teor de extrato etéreo (EE) foi analisado utilizando um extrator de gordura (ANKOM TX-10, Macedon – NY, Estados Unidos)⁽¹⁹⁾. A fibra em detergente neutro (FDN) e a lignina (LIG) foram determinadas de acordo com Van Soest et al.⁽²⁰⁾. Os carboidratos totais (CHOT) foram estimados segundo Sniffen et al.⁽²¹⁾. O teor de carboidratos não fibrosos (CNF) foi estimado de acordo com Hall⁽²²⁾. A hemicelulose (HEM) foi estimada de acordo com AOAC⁽¹¹⁾. Para determinação da lignina, as amostras foram lavadas com ácido sulfúrico à 72 % para solubilização da celulose e obtenção da lignina digerida com ácido (LIG), conforme metodologia proposta por Van Soest et al.⁽²⁰⁾. A celulose (CEL) foi determinada pela diferença entre FDN – FDA. O teor de nutrientes digestíveis totais (NDT) foi estimado segundo Undersander et al.⁽²³⁾.

Foi realizada análise descritiva dos picos de temperatura e pH durante a estabilidade aeróbica segundo Araújo et al.⁽¹⁷⁾. Os dados foram testados por análise de variância e regressão ao nível de 5% de probabilidade utilizando PROC REG do software Statistical Analysis System (SAS University). A significância dos parâmetros estimados pelos modelos e os coeficientes de determinação foram utilizados como critério de seleção dos modelos de regressão. Foi utilizado o seguinte modelo estatístico: $Y = \mu + T_j + e_{ij}$, onde: μ = média geral; T_j = efeito da cunhã; e_{ij} = erro residual.

3. Resultados

Houve efeito linear decrescente sobre PG ($P=0,040$) e PE ($P<0,001$) com redução de 1,394 % e 2,091 % para cada 1% de cunhã adicionado nas silagens de capim elefante (Tabela 2). Houve efeito linear crescente na RMS ($P<0,001$) com aumento de 0,138 % para cada 1 % de cunhã adicionado nas silagens de capim elefante (Tabela 2).

Efeito quadrático foi observado para K ($P=0,009$; Tabela 2), com ponto mínimo de 802,35 μm^2 em K com a inclusão de 50,34 % de cunhã nas silagens de capim elefante. Em relação a POR, foi observado efeito linear decrescente ($P<0,001$) nas silagens, com redução de 0,079 μm para cada 1 % de inclusão de cunhã nas silagens de capim elefante (Tabela 2).

Tabela 2 Perdas e perfil fermentativo de silagens de capim elefante com diferentes níveis de inclusão de cunhã

Variáveis	Níveis de inclusão de cunhã (%)					EPM	Valor-P	
	0	20	40	60	80		L	Q
PG ¹	24,00	23,57	20,00	21,53	18,05	1,11	0,040	<0,001
PE ²	16,85	14,42	12,42	11,99	7,61	1,52	<0,001	<0,001
RMS ³	92,23	95,41	100,54	100,50	101,36	1,79	<0,001	0,001
K ⁴	864,76	830,08	800,89	805,78	824,70	11,31	0,019	0,009
POR ⁵	71,48	70,59	67,03	66,25	65,74	0,42	<0,001	0,050
D ⁶	423,22	397,42	403,70	416,43	440,54	11,29	0,164	0,031
pH ⁷	3,52	3,74	3,89	3,88	3,89	0,04	<0,001	0,012
T	27,83	27,50	28,16	27,50	27,83	0,25	0,998	0,998

PG= perdas por gases (%MS); PE= perdas por efluentes (kg/t MN); RMS= recuperação de matéria seca (%MS); K= Permeabilidade (µm²); POR= Porosidade (µm); D= Densidade (kg/m³); T= temperatura (°C); EPM= erro padrão da média; L= linear; Q= quadrático; Equações: ¹y= 25.612 - 1.394x, R²= 0.79; ²y= 18.931 - 2.091x, R²= 0.94; ³y= 93.667 + 0.138x, R²= 0.62; ⁴y= 866.314 - 2.540x + 0.0252x², R²= 0.98; ⁵y= 71.389 - 0.0792x, R²= 0.90; ⁶y= 420.716 - 1.2500x + 0.019x², R²= 0.95; ⁷y= 3.611 + 0.0044x, R²= 0.76. Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

A densidade apresentou efeito quadrático (P=0,031; Tabela 2), com ponto mínimo de 400,13 kg.m³ com a inclusão de 32,93 % de cunhã nas silagens de capim elefante. O pH das silagens aumentou linearmente em 0,004 para cada 1 % de cunhã incluída na silagem de capim elefante (P<0,001; Tabela 2). A temperatura das silagens de capim elefante não foi afetada (P=0,998; Tabela 2) pela inclusão de cunhã, com valor médio de 27,76 °C.

Os níveis de cunhã proporcionaram efeito quadrático no pH máximo (P=0,018) e pH final (P=0,021) das silagens (Tabela 3) durante a exposição ao oxigênio. Foi encontrado ponto máximo de 4,40 no pH máximo registrado com a inclusão de 47,18 % de cunhã (Tabela 3).

Em relação ao pH final, o ponto máximo foi 4,36 com a inclusão de 48,10 % de cunhã (Tabela 3). Não houve efeito da inclusão da cunhã no tempo para atingir o pH máximo das silagens (P>0,05), com valor médio de 46,4 horas (Tabela 3).

Tabela 3 Estabilidade aeróbia de silagens de capim elefante com diferentes níveis de inclusão de cunhã

Variáveis	Níveis de inclusão de cunhã (%)					EPM	Valor-P	
	0	20	40	60	80		L	Q
pH máximo ¹	3,67	4,16	4,42	4,31	4,06	0,17	0,118	0,018
TpH máximo	48,00	44,00	48,00	48,00	44,00	2,00	0,541	0,605
pH final ²	3,67	4,03	4,42	4,31	4,04	0,17	0,087	0,021
TM	27,00	26,83	26,50	27,16	27,00	0,30	0,739	0,405
T Final	26,33	26,33	26,00	26,00	26,33	0,25	0,692	0,325

TTM ³	6,00	37,33	24,00	24,00	32,66	1,22	<0,001	<0,001
DST	2,66	2,66	2,00	2,00	2,33	0,36	0,275	0,352
ΣDT	18,33	18,33	13,66	14,00	19,66	2,97	0,863	0,172
EA ⁴	6,00	26,00	24,66	24,00	32,66	1,52	<0,001	0,003

TM= temperatura máxima (°C); T Final= temperatura final (°C); TTM= tempo para atingir a temperatura máxima (h); DST= diferença máxima entre a temperatura da silagem e a temperatura ambiente (°C); ΣDT= soma da diferença máxima da temperatura da silagem em relação ao ambiente (°C); EA= estabilidade aeróbia (h); EPM= erro padrão da média; L= linear; Q= quadrático; Equações: $^1\hat{y} = 3.674 + 0.0309x - 0.00033x^2$, $R^2 = 0.99$; $^2\hat{y} = 3.640 + 0.0302x - 0.000314x^2$, $R^2 = 0.95$; $^3\hat{y} = 12.229 + 0.657x - 0.0057x^2$, $R^2 = 0.40$; $^4\hat{y} = 9.257 + 0571x - 0.0040x^2$, $R^2 = 0.75$. Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Não houve efeito da inclusão da cunhã na TM, T final, DST e ΣDT ($P > 0,05$; Tabela 3) das silagens. O TTM foi influenciado quadraticamente ($P < 0,001$; Tabela 3) pelos níveis de inclusão da cunhã nas silagens de capim elefante, com ponto máximo de 31,12 horas com a inclusão de 57,50 % de cunhã. Efeito quadrático também foi verificado para EA ($P = 0,003$; Tabela 3), com ponto máximo de 29,99 horas com a inclusão de 72,65 % de cunhã nas silagens.

Neste estudo, a inclusão de 40, 60 e 80 % de cunhã resultou em aumentos de temperatura após 10, 20, 30 e 40 horas (Figura 1A). Quando essas silagens foram expostas a um ambiente aeróbico, foram observados aumentos de pH antes que as silagens atingissem o valor máximo de pH (Figura 1B).

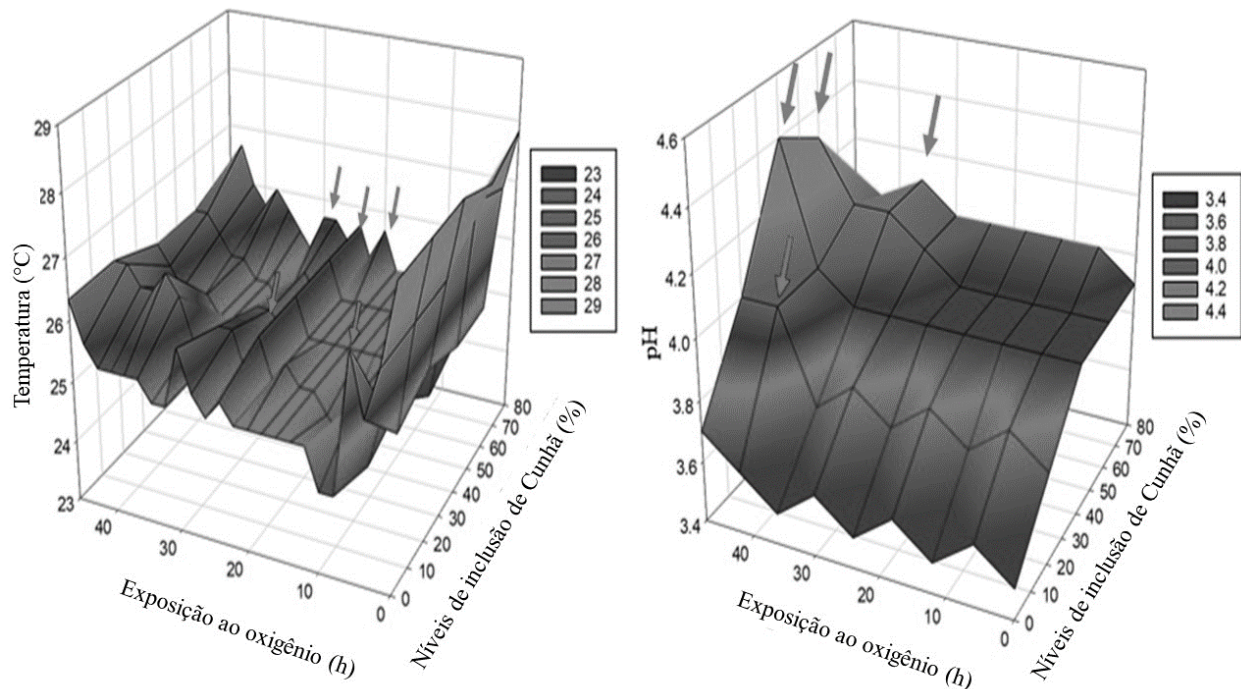


Figura 1 Distribuição da elevação da temperatura (A) e do pH (B) de silagens de capim Elefante com diferentes níveis de inclusão de cunhã durante a estabilidade aeróbia.

A inclusão de cunhã resultou em efeito linear crescente nos teores de MS, MO, EE, PB, LIG e NDT ($P < 0,001$; Tabela 4), com aumentos de 0,79 g/kg MN; 0,20; 0,08; 1,05; 1,87 e 1,05 g/kg MS, respectivamente, para cada 1 % de cunhã incluída nas silagens de capim elefante (Tabela 4). Houve efeito linear decrescente para MM, FDN, FDA, HEM, CEL e CHOT ($P < 0,001$; Tabela 4), com reduções de 0,20; 1,50; 0,47; 1,02; 0,38; e 1,11 g/kg MS, respectivamente, para cada 1 % de cunhã incluída nas silagens de capim elefante (Tabela 4). Não houve efeito da inclusão da cunhã ($P > 0,05$; Tabela 4) no teor de CNF das silagens, com valor médio de 172,48g/kg MS.

Tabela 4 Composição química de silagens de capim elefante com diferentes níveis de inclusão de cunhã

Variáveis g/kg MS	Níveis de inclusão de cunhã (%)					EPM	Valor-P	
	0	20	40	60	80		L	Q
MS ¹	285,13	294,07	329,62	337,46	342,61	4,23	<0,001	0,050
MM ²	83,30	79,63	72,92	71,62	66,64	1,99	<0,001	0,717
MO ³	916,69	920,36	927,07	928,37	933,35	1,99	<0,001	0,717
EE ⁴	20,26	22,81	24,84	26,04	27,59	0,30	<0,001	0,032
CP ⁵	59,94	81,46	101,60	121,31	145,09	1,24	<0,001	0,400
FDN ⁶	754,25	727,58	689,77	658,98	638,51	16,12	<0,001	0,754
FDA ⁷	475,97	471,90	469,25	454,83	436,55	5,34	<0,001	0,072
HEM ⁸	278,28	255,68	220,52	204,15	201,96	13,51	<0,001	0,266
CEL ⁹	450,66	447,28	447,39	434,87	418,25	5,28	<0,001	0,076
LIG ¹⁰	18,28	19,96	21,80	24,62	25,31	1,34	<0,001	0,552
CHOT ¹¹	911,46	887,76	866,26	845,48	820,64	1,28	<0,001	0,754
CNF	157,21	160,17	176,49	186,49	182,13	16,57	0,177	0,742
NDT ¹²	350,41	369,08	395,55	417,10	431,44	11,28	<0,001	0,754

*g/kg matéria natural; MS= matéria seca; MM= matéria mineral; MO= matéria orgânica; EE= extrato etéreo; PB= proteína bruta; FDN= fibra em detergente neutro; FDA= fibra em detergente ácido; HEM= Hemicelulose; CEL= Celulose; LIG= Lig-nina; CHOT= carboidratos totais; CNF= carboidratos não fibrosos; NDT= nutrientes digestíveis totais; EPM= erro padrão da média; L= linear; Q= quadrático; Equações: $^1\hat{y} = 286.113 + 0.792x$, $R^2 = 0.90$; $^2\hat{y} = 83.092 - 0.207x$, $R^2 = 0.97$; $^3\hat{y} = 916.908 + 0.207x$, $R^2 = 0.97$; $^4\hat{y} = 20.730 + 0.0895x$, $R^2 = 0.97$; $^5\hat{y} = 59.851 + 1.0577x$, $R^2 = 0.99$; $^6\hat{y} = 753.842 - 1.500x$, $R^2 = 0.99$; $^7\hat{y} = 480.887 - 0.479x$, $R^2 = 0.88$; $^8\hat{y} = 272.956 - 1.0209x$, $R^2 = 0.92$; $^9\hat{y} = 455.136 - 0.386x$, $R^2 = 0.82$; $^{10}\hat{y} = 16.378 + 1.872x$, $R^2 = 0.98$; $^{11}\hat{y} = 911.110 - 1.119x$, $R^2 = 0.99$; $^{12}\hat{y} = 350.710 + 1.050x$, $R^2 = 0.99$. Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

4. Discussão

As perdas na silagem ocorrem ao longo do processo produtivo, sendo diretamente influenciadas pelo seu teor de umidade⁽⁵⁾. O capim elefante contém baixo teor de matéria seca e reduzida quantidade de carboidratos solúveis, o que provoca grandes perdas de efluentes e crescimento de bactérias indesejáveis, como as do gênero *Clostridium*⁽²⁴⁾.

As perdas (gases e efluentes) ocorridas durante a fermentação são inevitáveis e podem ser minimizadas com uma combinação de forragem que equilibre o teor de umidade da silagem. Com o aumento das PE, os nutrientes são lixiviados, causando danos nutricionais ao produto final⁽²⁵⁾. As perdas por gases estão relacionadas ao tipo de fermentação que ocorre

no interior do silo, portanto os baixos valores de perdas de gases demonstram que no processo de ensilagem houve pouca participação da fermentação por enterobactérias e bactérias clostridiais, o que resultou na diminuição das fermentações secundárias⁽²⁶⁾. Assim, a inclusão de cunhã permitiu a redução de PE e PG e aumentou a RMS. Esse fato também foi observado por Almeida et al.⁽²⁷⁾ ao incluírem 30 % de feno de cunhã na composição de silagens mistas de milho com e sem espigas e por Lemos et al.⁽⁸⁾ ao avaliarem silagens de diferentes variedades de capim elefante associadas com cunhã. Segundo esses autores, a inclusão de leguminosas na silagem aumenta o teor de matéria seca, reduz perdas e fermentações secundárias e recupera maior proporção de massa ensilada, proporcionando vantagens para o processo de ensilagem.

Segundo Randby et al.⁽²⁸⁾, a porosidade está diretamente relacionada à taxa de aeração no silo e, conseqüentemente, influenciará no grau de deterioração da silagem. Quanto maior a porosidade, mais fácil é a entrada de ar no silo, provocando a proliferação de microrganismos inadequados. Neste sentido, é necessário reduzir estes valores e obter condições anaeróbias.

A densidade da silagem é diretamente influenciada pelo tamanho das partículas e pela compactação da massa ensilada. Apesar da maior densidade observada para a silagem de capim elefante contendo 80 % de cunhã, em relação ao tratamento controle (0 % de cunhã), todas as silagens apresentaram densidade abaixo da densidade estabelecida (entre 500 - 600 kg/m³). Segundo Costa et al.⁽²⁹⁾, baixas densidades favorecem o aumento das perdas e dificultam a RMS, promovendo redução na qualidade da silagem. Porém, apesar da menor densidade obtida neste estudo, a inclusão de cunhã reduziu as perdas fermentativas e aumentou o teor de matéria seca das silagens. Contudo, são necessários mais estudos com níveis intermediários de inclusão de cunhã em silagens de capim elefante, submetidas a maior período de armazenamento em silos, para que o comportamento desta variável possa ser observado.

O valor do pH é um importante indicador para avaliar a qualidade fermentativa da silagem⁽³⁰⁾. A adição de cunhã contribuiu para o aumento do pH das silagens de capim elefante, com variação entre 3,52 - 3,89. Esse efeito era esperado devido à capacidade tampão das leguminosas, que apresentam altos teores de ortofosfato, sais de ácidos orgânicos, além de alto teor de proteínas e baixo teor de carboidratos solúveis⁽³¹⁾. Porém, apesar do aumento do pH das silagens com a inclusão de leguminosas, somente com a inclusão de níveis acima de 20 % de cunhã foi possível atingir valores de pH encontrados dentro do limite (3,8 - 4,2) considerado ideal para culturas bem conservadas. silagens, e que limita a ação de enzimas proteolíticas na massa ensilada, o que reduz o desenvolvimento de enterobactérias e *Clostridium*⁽²⁷⁾. Possivelmente, os baixos valores de pH obtidos nas silagens com 0 e 20 % de cunhã podem estar associados à presença de ácidos fortes na silagem, uma vez que durante a ensilagem os microrganismos podem converter NO₃⁻ em NO₂, que reage com a água para formar HNO₃⁽³²⁾. Assim, podemos inferir que futuros estudos devem ser realizados com a avaliação de ácidos orgânicos e dióxido de nitrogênio nas silagens aqui testadas.

A estabilidade aeróbica da silagem consiste na resistência da massa forrageira ao processo de deterioração após a abertura do silo, quando a massa é exposta ao ar⁽³³⁾. A perda da estabilidade aeróbica geralmente ocorre em função do aumento da temperatura e dos elevados valores de pH. Esses aumentos são causados por microrganismos que metabolizam o ácido láctico presente na silagem e nos carboidratos residuais em ácido acético, CO₂ e água^(34, 35). Durante o processo de perda de estabilidade, picos de temperatura são perceptíveis à medida que a massa ensilada é exposta ao ambiente aeróbio. Essas altas temperaturas ocorrem através de atividades microbianas que produzem calor. Neste estudo foi possível observar que a silagem de capim elefante isoladamente foi a primeira a atingir 2 °C acima da temperatura ambiente e obteve maior DTS, promovendo aumento de temperatura nas silagens, resultando em menor estabilidade. Esse resultado pode estar relacionado ao desenvolvimento de microrganismos aeróbios, como fungos, leveduras e bolores⁽³⁶⁾.

A associação da cunhã com o capim elefante na composição de silagens mistas foi benéfica, pois a leguminosa atuou como aditivo absorvente e melhorou o teor de MS das silagens, passando de 285,13 g/kg (0 % de cunhã) para 342,61 g/kg (80 % de cunhã). Embora a inclusão de cunhã tenha proporcionado aumento no teor de MS das silagens, apenas com a inclusão de níveis acima de 20 % foi possível obter teores de matéria seca entre o limite estabelecido por McDonald et al.⁽³⁷⁾ para obtenção de silagens de boa qualidade (entre 30 – 35 % de matéria seca). Resultados inferiores foram relatados por Lemos et al.⁽⁸⁾ que, ao avaliarem silagens de capim elefante combinadas com cunhã, encontraram teor de matéria seca de 278,9 g/kg.

O aumento do teor de EE nas silagens está relacionado à maior proporção desse nutriente na cunhã, em comparação ao capim-elefante (Tabela 1). Valores semelhantes foram relatados por Araújo et al.⁽³⁸⁾ que relataram aumento nos níveis de EE ao incluírem amendoim forrageiro em silagens de capim elefante. Os autores enfatizaram que a associação de gramíneas e leguminosas ajuda a equilibrar o valor energético das silagens, importante na fermentação ruminal, na digestibilidade das fibras e na taxa de passagem. Segundo Marques et al.⁽³⁹⁾, para que o consumo de ração não seja limitado pelos ruminantes, este deve apresentar valores de EE inferiores a 5%. Assim, de acordo com nossos resultados, todas as silagens poderiam ser utilizadas na alimentação de ruminantes, pois maximizariam a ingestão, o que não seria afetado por limitações devido à alta concentração de energia.

Segundo Lemos et al.⁽⁸⁾, as leguminosas tendem a conter maior teor de nitrogênio nos tecidos foliares em comparação às gramíneas, o que certamente elucida o alto teor de PB encontrado na silagem de capim elefante quando incluída a cunhã, passando de 59,94 g/kg (0 % de cunhã) a 145,09 g/kg (80 % de cunhã) de proteína bruta. Resultados semelhantes foram relatados por Rodrigues et al.⁽⁴⁰⁾ que aumentaram os níveis de proteína bruta (8,76% - 11,53 %) das silagens de milho com a inclusão de leucena em sua composição. Os resultados obtidos com a inclusão da cunhã nas silagens testadas estão acima do nível necessário para garantir uma fermentação ruminal adequada (7 % de proteína bruta⁽⁴¹⁾), sem comprometer o uso eficiente de carboidratos fibrosos nas silagens. Níveis adequados de PB servem como indicação de menor proteólise durante a fermentação do material ensilado. Esse fato pode ser devido à menor atividade do *Clostridium*⁽⁴²⁾ e, conseqüentemente, menor concentração de ácido butírico nas silagens.

A inclusão progressiva da cunhã na silagem de capim elefante promoveu redução na MM, diferentemente da MO, que apresentou aumento no teor. O teor de MO é estimado a partir do teor de MM, com relação inversamente proporcional, elucidando o aumento de MO para os maiores níveis de cunhã na silagem.

A adição de cunhã na silagem favoreceu o aumento do NDT, porém, está abaixo dos 50 % desejável para silagens⁽⁴³⁾. Os menores teores de NDT obtidos devem-se às menores concentrações de EE das plantas forrageiras utilizadas na composição das silagens aqui estudadas, o que possivelmente contribuiu para a redução do NDT nas silagens, uma vez que a concentração de EE fornece 2,25 vezes mais energia que os carboidratos. Nesse sentido, a composição nutricional de uma silagem depende das concentrações de nutrientes na planta forrageira que será utilizada no processo de ensilagem⁽⁴³⁾.

Os teores de FDN e FDA indicam a quantidade e a qualidade da fibra presente na forragem. Entretanto, o elevado teor de FDN limita o consumo de MS⁽⁴⁴⁾. Neste estudo, à medida que foram adicionados níveis crescentes de cunhã, os teores de FDN e FDA reduziram, o que pode ser explicado pela composição estrutural das leguminosas, que contêm menores teores de fibras. Segundo Hawu et al.⁽⁴⁵⁾ a redução das frações fibrosas pode ter ocorrido devido à hidrólise da hemicelulose em monossacarídeos, que fornecem carboidratos extras para a geração de ácido lático ao longo da fermentação. Os resultados de FDN e FDA observados estão acima do limite máximo recomendado por Van Soest⁽⁴⁶⁾ que é de 60 % de FDN e do recomendado por Gülümser et al.⁽⁴⁷⁾, que é de 30 % de FDA para volumosos que serão utilizados em dietas para ruminantes. Assim, silagens que possuem alta concentração de carboidratos fibrosos provocam digestão lenta no rúmen⁽⁴⁸⁾. Portanto, é necessário sincronizar carboidratos e proteínas na dieta de ruminantes para garantir a eficiência microbiana.

Neste estudo, os teores de celulose e hemicelulose diminuíram com a inclusão da leguminosa, mostrando que a inclusão de cunhã às silagens, quanto às proporções dos componentes da fibra, é benéfica. O aumento desses componentes pode limitar a digestibilidade dos nutrientes, inibindo a atividade dos microrganismos ruminais, afetando assim a qualidade nutricional da silagem⁽⁴⁹⁾. Porém, houve aumento no teor de lignina nas silagens à medida que aumentaram os níveis de cunhã, o que era esperado, uma vez que a parede celular das leguminosas apresenta maior concentração de lignina em comparação às gramíneas⁽²⁷⁾.

À medida que os níveis de cunhã aumentaram, o conteúdo de CHOT diminuiu. Isto possivelmente ocorre porque este componente é influenciado pela proteína bruta; a cunhã possui valores consideráveis desse nutriente; isso influenciou diretamente na redução de carboidratos totais.

5. Conclusão

A inclusão da cunhã em níveis de até 80 % para compor silagens mistas de capim elefante reduz as perdas fermentativas, aumenta a estabilidade aeróbica, promove incremento nutricional e reduz o teor de fibras de baixa qualidade das silagens.

Conflito de interesse

Os autores declaram não haver interesses conflitantes.

Contribuição dos autores

Silva, C.S., Miranda, A.S., Novaes, J.J.S., Araújo, C.A., Macedo, A., Araújo, J.S., Lima, D.O.: Análises formais, Investigação, Metodologia; Emerenciano Neto, J.V., Araújo, G.G.L., Campos, F.S.: Gerenciamento do projeto, Supervisão, Visualização; Gois, G.C.: Redação (manuscrito original), Redação (revisão e edição)

Disponibilidade de dados

Maiores informações sobre os dados e metodologias serão disponibilizadas pelo autor correspondente, conforme solicitado.

Referências

1. Amaral RC, Carvalho BF, Costa DM, Morenz MJF, Schwan RF, Ávila CLS. Novel lactic acid bacteria strains enhance the conservation of elephant grass silage cv. BRS Capiacu. *Anim. Feed Sci. Techn.* 2020;264:e114472. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114472>
2. Araújo JS, Araújo CA, Macedo A, Silva CS, Novaes JJS, Lima DO, Borges EN, Gois GC, Araújo GGL, Campos FS. Fermentation dynamics, nutritional quality, and heating capacity of mixed silages of elephant grass (*Pennisetum purpureum* Schum) and leucaena (*Leucaena leucocephala*). *Braz. J. Vet. Res. Anim. Sci.* 2022;59:e189466. <https://doi.org/10.11606/issn.1678-4456.bjvras.2022.189466>
3. Bezerra HFC, Santos EM, Oliveira JS, Carvalho GGP, Pinho RMA, Silva TC, Pereira GA, Cassuce MR, Zanine AM. Fermentation characteristics and chemical composition of elephant grass silage with ground maize and fermented juice of epiphytic lactic acid bacteria. *South Afr. J. Anim. Sci.* 2019;49(3):522-533. <https://doi.org/10.4314/sajas.v49i3.13>
4. Matias AGS, Araujo GGL, Campos FS, Moraes SA, Gois GC, Silva TS, Emerenciano Neto JV, Voltolini TV. Fermentation profile and nutritional quality of silages composed of cactus pear and maniçoba for goat feeding. *J. Agric. Sci.* 2020;158(1):304-312. <https://doi.org/10.1017/S0021859620000581>
5. Zanine AM, Sene OA, Ferreira DJ, Parente HN, Parente MOM, Pinho RMA, Santos EM, Nascimento TVC, Lima AGVO, Perazzo AF, Portela YN, Bandeira DM. Fermentative profile, losses and chemical composition of silage soybean genotypes amended with sugarcane levels. *Sci. Rep.* 2020; 10:e21064. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-78217-1>
6. Macêdo AJS, Neto JMC, Silva MA, Santos EM. Potencialidades e limitações de plantas forrageiras para ensilagem: Revisão de Literatura. *Rev. Bras. Hig. Sanid. Anim.* 2021;13(1):320-337. <http://dx.doi.org/10.5935/1981-2965.20210010>
7. Machado HC, Campos NM, Santos CAP. Análise do desenvolvimento e da produção da cunhã em função de diferentes tipos de adubação orgânica. *Ci. Agríc.* 2021;19(1):25-36. <https://doi.org/10.28998/rca.v19i1.10265>
8. Lemos MF, Mello ACL, Guim A, Cunha MV, Silva PHF, Atroch TMA, Simões Neto DE, Oliveira Neto PM, Medeiros AS, Clemente JVF. Grass size and butterfly pea inclusion modify the nutritional value of elephant grass silage. *Pesq. Agropec. Bras.* 2021;56:e02409. <http://dx.doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2021.v56.02409>
9. Multisona RR, Shirodkar S, Arnold M, Gramza-Michalowska A. *Clitoria ternatea* flower and its bioactive compounds: potential use as microencapsulated ingredient for functional foods. *Appl. Sci.* 2023;13:e2134. <http://dx.doi.org/10.3390/app13042134>
10. Alvares CA, Stape JL, Sentelhas PC, Gonçalves JLM, Sparovek G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Met. Zeitschrift.* 2013;22(1):711-728. <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
11. Atalay H, Bilal T, Ekiz B. The effect of physically effective neutral detergent fiber on milk composition and milk yield. *Etlık Vet. Mikrob. Derg.* 2021;32(2):140-144. <http://dx.doi.org/10.35864/evmd.1015773>
12. Jobim CC, Nussio LG, Reis RA, Schmidt P. 2007. Avanços metodológicos na avaliação da qualidade da forragem conservada. *Rev. Bras. Zootec.* 36:101-119. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982007001000013>
13. Williams AG. The permeability and porosity of grass silage as affected by dry matter. *J. Agric. Eng. Res.* 1994; 59(2):133-140. <https://doi.org/10.1006/jaer.1994.1070>

14. Aoac. Association of Official Analytical Chemists. Official methods of analysis, 20th ed. Washington, D.C.: Latimer Jr., G.W.; 2016. 3172p.
15. Mizubuti IY, Pinto AP, Pereira ES, Ramos BMO. Métodos laboratoriais de avaliação de alimentos para animais, 1st ed. Londrina, PR: Eduel; 2009. 228p.
16. Kung Junior L. Microbial and chemical additives for silage: effect on fermentation and a animal response. Proceedings of the II Workshop Sobre Milho Para Silagem, Piracicaba, Brazil, July 2000. p. 1–53.
17. Araújo CA, Santos APM, Monteiro CCF, Lima DO, Torres AM, Santos CVS, Silva JJ. Efeito do tempo de ensilagem sobre a composição química, perfil fermentativo e estabilidade aeróbia de silagens de milho (*Zea mays*). Div. J. 2020;5(1):547-561. <http://dx.doi.org/10.17648/diversitas-journal-v5i1-1035>.
18. Tao X, Ji C, Chen S, Zhao J, Wang S, Li J, Sun F, Shao T. Fermentation quality and aerobic stability of Napier grass ensiled with citric acid residue and lactic acid bacteria. Trop. Grassl. Forrajes Trop. 2021;9(1):52-9. [http://dx.doi.org/10.17138/tgft\(9\)52-59](http://dx.doi.org/10.17138/tgft(9)52-59).
19. Aocs. American Oil Chemists' Society. Official methods and recommended practices, 7th ed. Urbana, IL; 2017.
20. Van Soest PJ, Robertson JB, Lewis BA. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non starch polysaccharides in relation to animal nutrition. J. Dairy Sci. 1991;74:3583-3597. [http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2)
21. Sniffen CJ, O'Connor JD, Van Soest PJ, Fox DG, Russell JB. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability. J. Anim. Sci. 1992;70(11):3562-3577. <http://dx.doi.org/10.2527/1992.70113562x>
22. Hall MB. Challenges with non-fiber carbohydrate methods. J. Anim. Sci. 2003;81(12):3226-32. <http://dx.doi.org/10.2527/2003.81123226x>. PMID:14677880
23. Undersander D, Mertens DR, Thiex N. Forage analysis procedures. Omaha: National Forage Testing Association, 1993. 154 p.
24. Dias ECB, Cândido MJD, Furtado RN, Pompeu RCF, Silva LV. Nutritive value of elephant grass silage added with cottonseed cake in diet for sheep. Rev. Ci. Agron. 2019;50(2):321-328. <http://dx.doi.org/10.5935/1806-6690.20190038>.
25. Carvalho IQ, Jobim CC, Osmari MP, Daniel JLP. Occurrence of visible losses and relationship with corn silage management in dairy farms in the State of Paraná. Acta Sci. Anim. Sci. 2021;43:e49933. <http://dx.doi.org/10.4025/actascianimsci.v43i1.49933>
26. Borreani G, Tabacco E, Schmidt RJ, Holmes BJ, Muck RE. Silage review: Factors affecting dry matter and quality losses in silages. J. Dairy Sci. 2018;101(5):3952–3979 <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13837>
27. Almeida BAS, Teixeira FA, Nunes TSS, Gois GC, Reis LO, Ferreira Filho PA, Ramos RJN, Rodrigues AC, Menezes DR, Silva AM, Silva SFA, Queiroz MAA. Fermentative dynamics and nutritional characteristics of mixed corn silages with and without cobs associated with butterfly pea hay. New Zealand J. Agric. Res. 2023;66:1-18. <https://doi.org/10.1080/00288233.2023.2233456>
28. Randby AT, Halvorsen HN, Bakken AK. Losses and grass silage quality in bunker silos compacted by tractor versus wheel loader. Anim. Feed Sci. Techn. 2020;266:e114523. <http://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114523>
29. Costa ER, Mello ACL, Guim A, Costa SBM, Abreu BS, Silva PHF, Silva VJ, Simões Neto D. Adding corn meal into mixed elephant grass–butterfly pea legume silages improves nutritive value and dry matter recovery. J. Agric. Sci. 2022;160:185-193. <http://dx.doi.org/10.1017/S0021859622000284>
30. Ren X, Tian H, Zhao K, Li D, Xiao Z, Yu Y, Liu F. Research on pH value detection method during maize silage secondary fermentation based on computer vision. Agric. 2022;12:e1623. <http://dx.doi.org/10.3390/agriculture12101623>
31. Şenyüz H, Karsli M. Digestibility and silage quality of potato pulp silages prepared with different feedstuff. J. Hellenic Vet. Med. Soc. 2022;72:3383–3390. <http://dx.doi.org/10.12681/jhvms.29381>
32. Dong Z, Li J, Wang S, Dong D, Shao T. Time of day for harvest affects the fermentation parameters, bacterial community, and metabolic characteristics of sorghum-sudangrass hybrid silage. mSphere. 2022;31:e0016822. <https://doi.org/10.1128/msphere.00168-22>

33. Kung Jr L, Savage RM, Silva EB, Polukis SA, Smith ML, Johnson ACB, Miller MA. The effects of air stress during storage and low packing density on the fermentation and aerobic stability of corn silage inoculated with *Lactobacillus buchneri* 40788. J. Dairy Sci. 2021;104(4):4206–4222. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2020-19746>
34. Li YF, Wang LL, Jeong EC, Kim HJ, Ahmadi F, Jong Geun Kim JG. Effects of sodium diacetate or microbial inoculants on aerobic stability of wilted rye silage. Anim. Biosci. 2022;35(12):1871-1880. <http://dx.doi.org/10.5713/ab.22.0150>
35. Nascimento RR, Edvan RL, Nascimento KS, Barros LS, Bezerra LR, Miranda RS, Perazzo AF, Araújo MJ. Quality of silage with different mixtures of melon biomass with urea as an additive. Agron. 2023;13:e293. <http://dx.doi.org/10.3390/agronomy13020293>
36. Camilo MG, Fernandes AM, Processi EF, Motta OV, Roseira JPS, Oliveira TS. Evaluation of the type of silo associated or not with additives on the nutritional value, aerobic stability, and microbiology of pearl millet silage. An. Acad. Bras. Ci. 2023;95:e20210421. <http://dx.doi.org/10.1590/0001-3765202320210421>
37. McDonald P, Henderson AR, Heron SJE. The biochemistry of silage. 2nd ed. Marlow: Chalcomb Publishing. 1991; 340p.
38. Araújo CA, Novaes JJS, Araújo JS, de Macedo A, Silva CS, Silva TC, Emerenciano Neto J, Araújo GGL, Campos FS, Gois GC. Perfil fermentativo, calidad nutricional y estabilidad aerobia de ensilajes mezclados de hierba elefante (*Pennisetum purpureum* Schum) y maní forrajero (*Arachis pintoi*). Rev. MVZ Córdoba. 2022;27(3):e2549. <https://doi.org/10.21897/rmvz.2549>
39. Marques KO, Jakelaitis A, Guimarães KC, Pereira LS. Perfil agronômico, fermentativo e bromatológico da silagem obtida do consórcio entre milho e soja. Res. Soc. Dev. 2021;10(1): e41410111925. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i1.11925>
40. Rodrigues WM, Sales ECJ, Monção FP, Marques OFC, Rigueira JPS, Pires DAA, Rufino LDA, Rocha Junior VR, Alves DD, Gomes, VM. J. Dev. 2020;6(4):22001-22017. <http://dx.doi.org/10.34117/bjdv6n4-389>
41. Amorim DS, Edvan RL, Nascimento RR, Bezerra LR, Araújo MJ, Silva AL, Mielezski F, Nascimento KS. Fermentation profile and nutritional value of sesame silage compared to usual silages. Italian J. Anim. Sci. 2020;19(1):230-239. <http://dx.doi.org/10.1080/1828051X.2020.1724523>.
42. Nascimento KS, Edvan RL, Vallecillo SJA, Nascimento RR, Barros DMA, Silva MA, Araújo MJ, Bezerra LR. Can fermentative and nutritional quality of *Panicum maximum* silage be improved with the use of corn silage juice as a bioinoculant? Int. J. Agric. Biol. 2021;26(3): 411-419. <https://doi.org/10.17957/IJAB/15.1850>
43. Borges EN, Araújo CA, Monteiro BS, Silva AS, Albuquerque LF, Araújo GGL, Campos FS, Gois GC, Souza RC, Araújo AO. Buffel grass pre-dried as a modulator of the fermentation, nutritional and aerobic stability profile of cactus pear silage. New Zealand J. Agric. Res. 2023;66:1-16. <https://doi.org/10.1080/00288233.2023.2212173>
44. Carrillo-Díaz MI, Miranda-Romero LA, Chávez-Aguilar G, Zepeda-Batista JL, González-Reyes M, García-Casillas AC, Tirado-González DN, Tirado-Estrada G. Improvement of ruminal neutral detergent fiber degradability by obtaining and using exogenous fibrolytic enzymes from white-rot fungi. Anim. 2022;12:e843. <http://dx.doi.org/10.3390/ani12070843>.
45. Hawu O, Ravhuhali KE, Mokoboki HK, Lebopa CK, Sipango N. Sustainable Use of legume residues: effect on nutritive value and ensiling characteristics of maize straw silage. Sustain. 2022;14(11):e6743. <https://doi.org/10.3390/su14116743>
46. Van Soest PJ. Nutritional ecology of the ruminant. 2th ed. Ithaca: Cornell University Press. 1994; 476p.
47. Gülümser E, Mut H, Başaran U, Doğrusöz MÇ. Na assessment of ensiling potential in maize x legume (soybean and cowpea) binary mixtures for yield and feeding quality. Turkish J. Vet. Anim. Sci. 2021;45(3):547-555. <https://doi.org/10.3906/vet-2006-43>
48. Souza WF, Costa KAP, Guarnieri A, Severiano EC, Silva JT, Teixeira DAA, Oliveira SS, Dias MBC. Production and quality of the silage of corn intercropped with *Paspalum palisadegrass* in different forage systems and maturity stages. Rev. Bras. Zootec. 2019;48: e20180222. <https://doi.org/10.1590/rbz4820180222>
49. Weimer PJ. Degradation of cellulose and hemicellulose by ruminal microorganisms. Microorg. 2022;10:e2345. <http://dx.doi.org/10.3390/microorganisms10122345>