DOI: 10.1590/1809-6891v27e-83429P

Ciência Animal Brasileira
Brazilian Animal Science

e-ISSN 1809-6891
Zootecnia | Artigo científico

Inclusão do grão de soja na ensilagem de grão de milho reidratado

[Inclusion of soybeans in rehydrated corn grain silage]

Raphaela Aparecida Tomaz do Prado[1], Thailson Fernando Faustino[1], Samuel José Fernandes de Lima[1], Ana Carolina Rodrigues Alves[1], Joice Micaela Portugal[1], Tayla Évellin de Oliveira[1], Adauton Vilela de Rezende[1]

1 Universidade Professor Edson Antônio Velano (UNIFENAS), Alfenas, Minas Gerais, Brasil

*autor correspondente: adauton.rezende@unifenas.br

Recebido: 17 de julho de 2025. Aceito: 29 de abril de 2026. Publicado: 19 de maio de 2026.
Editor: Rondineli P. Barbero

Resumo: Objetivou-se avaliar as características bromatológicas e microbiológicas da inclusão de grãos de soja crus e tostados na silagem de grãos de milho reidratados. O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4 × 2 + 1, com quatro níveis de inclusão de grãos de soja (12,5; 25; 37,5 e 50 % da matéria natural), dois tipos de grãos (crus e tostados) e um tratamento controle, contendo apenas silagem de grãos de milho reidratados, totalizando nove tratamentos, com cinco repetições cada. Para o preparo do material, parte dos grãos de soja foi submetida à tostagem, seguida da moagem de todos os grãos e posterior mistura ao milho, conforme os tratamentos experimentais. A água foi adicionada até que a umidade atingisse 35 %. O material foi ensilado em silos experimentais confeccionados com tubos de policloreto de vinila (PVC), com capacidade de 4 L, resultando em densidade final de 1064 ± 83,8 kg/m³. Após 60 dias de fermentação, os silos foram abertos para análises de pH, microbiológicas e bromatológicas. A inclusão de soja influenciou positivamente as características bromatológicas da silagem. Níveis de até 37,5 % resultaram em melhorias na composição nutricional, com aumento nos teores de proteína bruta (7,1 %), extrato etéreo (4 %) e matéria mineral (7 %), mantendo boa digestibilidade (84 %). Em relação ao tipo de grão, a soja crua proporcionou melhor composição bromatológica, enquanto a soja tostada resultou em menor concentração de fungos e leveduras. A inclusão de grãos de soja na silagem de milho reidratado melhora a composição nutricional, sendo recomendada até o nível de 37,5 %, pois garante maior teor proteico e boa digestibilidade, além de reduzir a presença de fungos e leveduras quando tostada.

Palavras-chave: digestibilidade; fermentação; grãos crus; grãos tostados.

Abstract: The objective was to evaluate the bromatological and microbiological characteristics of adding raw and toasted soybeans to rehydrated corn grain silage. The experimental design used was a completely randomized design, in a 4 × 2 + 1 factorial design, with four levels of soybean inclusion (12.5, 25, 37.5, and 50 % of dry matter), two types of beans (raw and roasted), and a control treatment containing only rehydrated corn grain silage, totaling nine treatments, with five replicates each. To prepare the material, part of the soybeans was roasted, followed by grinding of all the beans and subsequent mixing with corn, according to the experimental treatments. Water was added until moisture reached 35 %. The material was ensiled in experimental silos made of polyvinyl chloride (PVC) tubes, with a capacity of 4 L, resulting in a final density of 1064 ± 83.8 kg/m³. After 60 days of fermentation, the silos were opened for pH, microbiological, and bromatological analyses. The

Copyright ©. Este é um artigo em acesso aberto distribuído nos termos da Creative Commons Attribution License que permite o uso irrestrito, a distribuição e reprodução em qualquer meio desde que o artigo original seja devidamente citado.

inclusion of soybeans positively influenced the bromatological characteristics of the silage. Levels of up to 37.5 % resulted in improvements in nutritional composition, with increases in crude protein (7.1 %), extract (4 %), and mineral content (7 %), while maintaining good digestibility (84 %). Regarding the type of grain, raw soybeans provided better bromatological composition, while toasted soybeans resulted in lower concentrations of fungi and yeast.

Keywords: digestibility; fermentation; raw grains; toasted grains.

1. Introdução

A silagem é uma estratégia amplamente utilizada na pecuária como forma de conservar forragens e grãos, permitindo a oferta contínua de alimentos de qualidade ao longo do ano, especialmente nos períodos de escassez de pastagem. Por meio da fermentação anaeróbica, esse processo preserva os nutrientes e garante um alimento com boa estabilidade, aceitabilidade e valor nutritivo para ruminantes [1-3]. Entre os diversos tipos de silagem, destaca-se a silagem de grãos de milho reidratados, que vem ganhando espaço como alternativa na formulação de concentrados.

A silagem de grão úmido é um alimento de elevado valor energético, caracterizado por alta digestibilidade e elevados teores de amido, que podem variar de 60 % a mais de 70 % da matéria seca. Sua composição depende do teor de umidade na colheita (idealmente entre 30-40 %) e do processamento, apresentando em média 60 a 70 % de matéria seca, 7 a 9 % de proteína bruta e 80 a 85 % de nutrientes digestíveis totais. Além disso, possui baixo teor de fibra (FDN em torno de 10 a 15 %), o que favorece o aproveitamento energético. Esse método consiste, basicamente, em moer o milho seco, reidratá-lo e armazená-lo em ambiente sem oxigênio, favorecendo o processo fermentativo. Por ser uma prática de fácil implantação, pode contribuir significativamente para o aproveitamento de grãos e para a redução de perdas no campo [1; 4].

No entanto, embora o milho seja uma excelente fonte de energia devido ao seu alto teor de amido, apresenta baixos teores de proteína (7 a 9 %), o que torna necessária a complementação proteica na dieta de animais de produção. Nesse contexto, o uso de ingredientes alternativos na ensilagem surge como uma estratégia viável para melhorar o perfil nutricional da silagem. O grão de soja, por exemplo, apresenta elevado teor de proteína e pode ser utilizado como alternativa ao farelo de soja, apresentando, ainda, custo potencialmente mais acessível. Dependendo da qualidade dos grãos e das condições climáticas no período de colheita da soja, o grão cru perde valor comercial, principalmente para exportação, viabilizando seu uso na ensilagem [5; 6].

A inclusão do grão de soja na ensilagem de grãos de milho reidratados, seja em sua forma crua ou tostada, tem sido estudada com o intuito de elevar o valor nutritivo da dieta, principalmente no que se refere ao teor proteico. A tostagem, por sua vez, é uma técnica eficaz para inativar fatores antinutricionais presentes no grão cru, que podem comprometer a digestibilidade e a absorção de nutrientes pelos animais [7; 8].

Nesse contexto, a inclusão de grãos de soja na ensilagem de grãos de milho reidratados tem potencial de melhorar o teor proteico do material ensilado, aumentando a qualidade da dieta. Portanto, objetivou-se avaliar as características bromatológicas e microbiológicas da inclusão de grãos de soja crus e tostados na silagem de grãos de milho reidratados.

2. Material e métodos

O experimento foi realizado na Fazenda Escola da Universidade Professor Edson Antônio Velano (UNIFENAS), com aprovação do Comitê de Ética, sob o número 8248200220.

Para a realização do experimento, grãos de milho e soja foram adquiridos diretamente de produtores da região de Alfenas. Esses grãos foram avaliados quanto ao teor de umidade, o qual foi considerado para a reidratação posterior, além de sua composição bromatológica e pH. A tabela 1 apresenta a composição bromatológica e o pH dos grãos.

Tabela 1. Composição bromatológica (g/kg) e pH dos grãos de milho e soja adquiridos de produtores da região de Alfenas-MG.

Grãos	MS	PB	EE	FDA	MM	pH
Milho	870,0	84,0	17,1	36,1	16,0	6,5
Soja cru	871,2	411,5	122,4	89,0	50,9	6,9
Soja tostada	883,7	380,0	175,0	80,0	62,3	6,8

MS: Matéria seca; PB: Proteína bruta; EE: Extrato etéreo; FDA: Fibra em detergente ácido; MM: Matéria mineral.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado (DIC) em esquema fatorial 4 (inclusão dos grãos de soja em quatro níveis: 12,5; 25; 37,5 e 50 %) × 2 (grãos crus e tostados) + 1 (tratamento controle constituído apenas por silagem de grãos de milho reidratado), com cinco repetições por tratamento.

Para o preparo dos grãos e a ensilagem do material, inicialmente, realizou-se a tostagem de parte dos grãos de soja. Esses grãos foram colocados em fôrmas de alumínio, homogeneizados e tostados em um forno elétrico industrial, modelo PRP-004, marca Progas – Caxias do Sul-RS, utilizando a temperatura de 160 °C por 10 minutos.

Em seguida, realizou-se a moagem dos grãos secos de milho e dos grãos de soja, crus e tostados, utilizando um Moinho tipo Wiley, modelo TE-650, marca Tecnal, potência de 500 watts, produzido pela Tecnal equipamentos científicos - Piracicaba-SP, equipado com motor elétrico. As peneiras utilizadas tinham malhas de 4 mm para os grãos de milho e 8 mm para a soja. A soja moída foi misturada ao milho moído nos níveis de 12,5; 25; 37,5 e 50 % com base na matéria seca. Por fim, adicionou-se água ao material até atingir uma umidade de 35 %, que foi calculada de acordo com a equação adaptada de Ferreira [9], onde:

$$\Delta H_2O = [\ UM \times (Uf - Ui) / 100 - Uf\ ] / p$$

Em que: ΔH_2O = volume de água a ser adicionada; UM = massa do produto na matéria natural em kg; Uf = umidade final, %; Ui = umidade inicial, %; p = massa específica da água, kg/l.

A massa homogeneizada foi ensilada em silos experimentais feitos de tubo de policloreto de vinila (PVC), com capacidade para 4 L, alcançando uma densidade final de 1064 ± 83,8 kg/m³. Para compactar a silagem, foram utilizados pêndulos de madeira até que a densidade atingisse aproximadamente 1000 kg/m³. Após a compactação, os silos foram lacrados com fita adesiva e pesados novamente. Cada tubo possuía uma tampa adaptada com uma válvula tipo Bunsen, que permitia a liberação de gases.

Após 60 dias, os silos foram pesados e abertos, descartando-se a camada superficial de cada um. A parte central da massa ensilada foi transferida para bandejas de plástico, onde foi homogeneizada e, em seguida, foram retiradas as amostras para as avaliações.

Foram realizadas análises microbiológicas para quantificar a presença de bactérias ácido-láticas, fungos filamentosos e leveduras. Para isso, amostras de 125 g (25 g de cada repetição) foram levadas ao Laboratório de Microbiologia do Solo (LMS) da UNIFENAS para a execução da técnica de diluição seriada, baseada na preparação de diluições sucessivas da amostra em solução estéril para a quantificação de microrganismos viáveis. No preparo da diluição, 10 g da amostra foram homogeneizados em 90 mL de solução salina (cloreto de sódio – NaCl a 0,55 %), sob agitação orbital a 120 rpm por 20 minutos. Posteriormente, transferiu-se 1 mL dessa solução para tubos de ensaio contendo 9 mL da mesma solução salina, repetindo-se o processo até a diluição de 10^{-9}. De cada diluição, foi retirada uma alíquota de 30 microlitros (µL), que foi inoculada em placas de Petri com os meios de cultura: Ágar de Man, Rogosa e Sharpe (MRS), para contagem de bactérias ácido-láticas, e Ágar Batata-Dextrose (BDA), para contagem de fungos filamentosos e leveduras, utilizando a técnica de espalhamento em superfície (spread plate). As placas foram incubadas em estufa com temperatura controlada de 30 °C para as bactérias e 25 °C para os fungos filamentosos e leveduras, por um período de 48 horas. O plaqueamento foi realizado em triplicata, e a contagem foi efetuada após as 48 horas.

As análises bromatológicas foram realizadas no Laboratório de Bromatologia (LB) da UNIFENAS. Para isso, 200 g de amostra foram pré-secadas em estufa com circulação forçada de ar a 55 °C por 72 horas. Após a pré-secagem, as amostras foram moídas em um moinho do tipo Wiley, modelo TE-650, marca Tecnal, potência de 500 watts, produzido pela Tecnal equipamentos científicos - Piracicaba-SP, utilizando uma peneira com malha de 1 mm, e armazenadas em recipientes plásticos com tampas. A determinação da matéria seca total (MS) foi realizada em estufa com circulação forçada de ar modelo TE 394/3 produzido pela Tecnal equipamentos científicos - Piracicaba-SP a 105 °C por 16 horas, conforme a AOAC [10]. Em seguida, a proteína bruta (PB) foi obtida a partir da concentração de nitrogênio (N) determinada por um destilador de nitrogenio a vapor do tipo micro-Kjeldahl, modelo TE-0364 da marca Tecnal equipamentos científicos - Piracicaba-SP, calculando-se seu valor ao multiplicar a concentração de N pelo fator de conversão de 6,25 [11]. Para a obtenção do extrato etéreo (EE), foi utilizado um determinador de gordura modelo TE-044 da marca Tecnal equipamentos científicos Piracicaba-SP e foi empregado o método de Randall, que consiste em uma extração direta por quatro horas [11]. A análise da porção fibrosa incluiu a quantificação da fibra em detergente neutro (FDN) e ácido (FDA), realizadas com o auxílio do aparelho Tecnal® modelo TE-149, de acordo com o método de Van Soest et al. [12]. Por fim, a matéria mineral (MM) foi determinada através da incineração da amostra a 550 °C por cinco horas [11].

Para a análise de digestibilidade *in vitro*, foi utilizado um bovino fêmea, com aproximadamente 500 kg de peso vivo, pertencente ao Instituto Federal do Sul de Minas Gerais (IFMG), Campus Machado. O animal foi alimentado com silagem de milho e soja durante um período de 15 dias para adaptação. A coleta do líquido ruminal foi realizada no período da manhã, antes da alimentação, por meio da introdução de sonda esofágica acoplada a uma bomba de vácuo, para sucção do conteúdo ruminal. Após a coleta, o líquido foi encaminhado ao LB da UNIFENAS, onde foi homogeneizado, filtrado e submetido à medição de pH. Em seguida, foi misturado a uma solução tampão de saliva sintética, na proporção de 4:1. O coeficiente de digestibilidade da matéria seca *in vitro* (DIVMS) foi determinado pelo método indireto proposto por Tilley e Terry [13].

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), utilizando o software estatístico R (R Core Team, 2024). Os níveis de inclusão de soja foram analisados por regressão, enquanto o tipo de soja foi comparado por meio do teste de Tukey ($p < 0,05$). As variáveis estudadas foram submetidas à ANOVA utilizando o seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ijk} = \mu + N_i + S_j + (N \times S)_{ij} + C + \varepsilon_{ijk}$$

em que Y_{ijk} é o valor observado da variável resposta; μ é a média geral; N_i é o efeito dos níveis de inclusão de soja (i = 1, 2, 3, 4); S_j é o efeito do tipo de soja (j = cru, tostado); $(S)_{ij}$ é o efeito da interação entre nível e tipo de soja; C é o efeito do tratamento controle (milho reidratado sem soja); e ε_{ijk} é o erro aleatório associado a cada observação, assumindo distribuição normal $N(0, \sigma^2)$.

3. Resultados e discussão

A inclusão do grão de soja na ensilagem de milho reidratado melhorou as características bromatológicas do produto. Os valores encontrados para pH apresentaram interação ($P < 0,05$, Tabela 2). O pH das silagens, tanto com soja crua quanto com a soja tostada, apresentou efeito linear crescente à medida que se elevou o nível de inclusão de soja (Tabela 2). No entanto, a soja tostada apresentou pH superior ao da soja crua em todos os níveis, com exceção do nível de 50 %.

O aumento do pH em função do aumento do nível de inclusão de soja já era esperado, devido à maior quantidade de compostos proteicos presentes no grão de soja, os quais atuam como tampão durante a fermentação, interferindo na redução do pH [14]. De acordo com Kung et al. [15], silagens bem preservadas apresentam pH inferior a 4,2. Diante disso, pode-se afirmar que as silagens de grão de milho com inclusão de soja apresentam boa capacidade de fermentação, uma vez que todas as silagens deste estudo registraram pH abaixo de 4,2 no momento da abertura dos silos.

Ao se analisar os parâmetros bromatológicos, verificou-se que, para o teor de MS, houve efeito de interação entre os níveis de inclusão de soja e o tipo de soja adicionado à silagem ($P < 0,05$; Tabela 2). Observou-se que, à medida que se aumentou a inclusão de soja crua, o teor de MS diminuiu de forma linear ($P < 0,05$; Tabela 2). Por outro lado, quando foi utilizada a soja tostada, esse efeito não foi observado. Além disso, constatou-se diferença entre os tipos de soja nos níveis de 37,5 e 50 % de inclusão, sendo os teores de MS das silagens com soja tostada foram superiores aos das silagens com soja crua ($P < 0,05$; Tabela 2).

Em relação ao desenvolvimento microbiológico na silagem de grão de milho com inclusão de soja, foi constatado efeito linear crescente na concentração de bactérias ácido-láticas, além de efeito de interação entre os níveis de inclusão de soja e tipo de soja adicionado à silagem para a concentração de fungos filamentosos e leveduras ($P<0,05$; Tabela 3).

Tabela 2. Composição bromatológica de grão de milho com inclusão de níveis de soja cru ou tostado em forma de silagem de grão reidratado.

Variáveis	Níveis de inclusão de soja								CV (%)	p-valor		
	12,50 %		25 %		37,50 %		50 %					
	Cru	Tostado	Cru	Tostado	Cru	Tostado	Cru	Tostado		N	S	N*S
pH	3,91	3,94	3,96	3,98	4,05	4,08	4,13	4,10	35,39	<0,01	0,08	<0,01
MS (g/kg)	644,50	644,70	640,40	643,30	637,40	644,20	634,90	648,20	2,20	0,265	<0,01	0,015
PB (g/kg)	116,60	117,80	153,30	144,20	187,70	180,10	231,60	229,80	10,79	<0,01	0,177	0,617
EE (g/kg)	54,20	61,10	72,90	78,30	89,20	103,30	100,40	124,70	17,41	<0,01	<0,01	<0,01
FDN (g/kg)	102,70	108,80	121,80	162,40	174,30	219,60	196,40	272,30	9,35	<0,01	<0,01	<0,01
FDA (g/kg)	50,50	54,60	78,50	87,20	95,20	103,20	122,30	132,70	12,46	<0,01	0,056	0,936
MM (g/kg)	22,80	21,60	22,30	27,20	29,70	30,20	35,10	36,20	15,46	<0,01	0,352	0,528
DIVMS	89,91	89,58	86,88	85,75	84,09	83,29	80,39	79,07	2,70	<0,01	0,08	0,975

MS – Matéria seca; PB – Proteína bruta; EE – Extrato etéreo; FDN – Fibra em detergente neutro, FDA – Fibra em detergente ácido; MM – Matéria mineral; DIVMS – Digestibilidade in vitro da matéria seca, N – nível de inclusão de soja; S – tipo de soja.

Tabela 3. Crescimento microbiológico de bactérias e fungos (Log UFC/g) em grão de milho com inclusão de níveis de soja cru ou tostado em forma de silagem de grão reidratado.

Variáveis	Níveis de inclusão de soja								CV (%)	p-valor		
	12,50 %		25 %		37,50 %		50 %					
	Cru	Tostado	Cru	Tostado	Cru	Tostado	Cru	Tostado		N	S	N*S
Bactérias	8,07 a	8,01 a	8,18 a	8,41 a	8,69 a	8,70 a	8,95 a	8,98 a	3,19	<0,01	0,4	0,46
Fungos filamentosos	8,32 a	7,45 b	8,50 a	7,74 b	8,69 a	8,09 b	8,76 a	8,49 a	3,94	<0,01	<0,01	0,049

Letras iguais dentro de cada nível de inclusão não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de significância; N – Níveis de inclusão de soja; S – tipo de soja.

O aumento da concentração de bactérias ácido-láticas, à medida que se elevaram os teores de grão de soja, pode estar relacionado à boa qualidade fermentativa do material, conforme evidenciado pelos valores de pH, já que silagens bem preservadas apresentam pH inferior a 4,2 (P < 0,05, Tabela 2) [15]. De acordo com Macêdo et al. [16], as bactérias ácido-láticas, em silagens bem fermentadas, predominam no material, promovendo a conservação da massa e garantindo melhor qualidade nutricional. Essas bactérias são essenciais para um adequado processo fermentativo, pois promovem a acidificação do material, resultando na redução do pH e, consequentemente, inibindo o desenvolvimento de microrganismos indesejáveis [17].

Quanto ao desenvolvimento de fungos filamentosos e leveduras, observou-se que tanto a adição de soja crua quanto a de soja tostada aumentaram, de forma linear a concentração desses microrganismos à medida que se aumentou a inclusão do grão de soja (Figura 1). No entanto, verificou-se que a soja tostada apresentou menor concentração de fungos filamentosos e leveduras em comparação à soja crua, até o nível de inclusão de 37,5 %.

A redução na concentração de fungos filamentosos e leveduras com a adição de soja tostada pode ser atribuída aos teores adequados de MS observados neste experimento, fator importante para evitar fermentações indesejadas que degradam os nutrientes e favorecem a produção de toxinas. Além disso, essa redução pode estar associada aos valores de pH, que influenciam diretamente a acidez da silagem e, conforme Santos et al. [18], contribuem para a diminuição da atividade proteolítica, controlando ou inibindo o desenvolvimento de microrganismos indesejáveis, como o *Clostridium*.

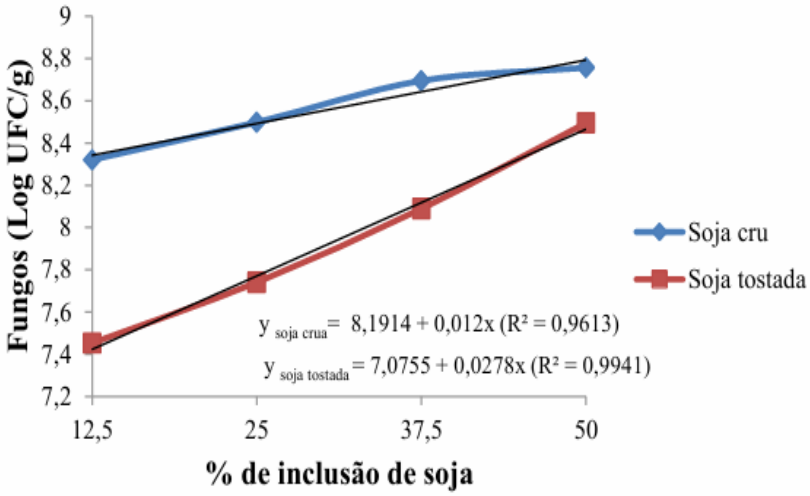

Figura 1. Desenvolvimento de fungos filamentosos (Log UFC/g) em teores crescentes de inclusão do grão de soja cru e tostado na silagem de grão de milho reidratado.

Os fungos filamentosos são microrganismos estritamente aeróbios, enquanto algumas espécies de leveduras são anaeróbias facultativas, capazes de metabolizar açúcares solúveis e ácido láctico. A atividade dessas leveduras pode favorecer o aumento do pH, criando condições para o desenvolvimento de fungos filamentosos na presença de oxigênio, os quais podem produzir micotoxinas [19]. Jobim et al. [19] e Muck, [20] relataram que, quando há um manejo adequado, evitando que a silagem permaneça exposta ao ar por longos períodos durante o manuseio, e aliado a um bom aporte de MS e teores adequados de umidade no momento da preparação, esses fatores contribuem positivamente para a qualidade do produto, reduzindo a proliferação de microrganismos deterioradores.

Segundo Jobim et al. [21] e Benini et al. [22], a silagem de grãos de milho reidratados normalmente apresenta teores de MS entre 64 e 70 %, corroborando os valores encontrados no presente estudo, semelhantes também aos valores encontrados por Rezende et al. [4], que observaram que as silagens de grãos de milho reidratados com soro ácido apresentaram maiores teores de MS em comparação àquelas reidratados com água (649,2 vs 628,5 g/kg).

Em relação à PB, observou-se efeito para os níveis de inclusão de soja adicionados à silagem, sendo identificado efeito linear crescente à medida que se aumentaram os níveis de soja ($P < 0,05$; Tabela 2). Esse resultado já era esperado devido ao alto teor de PB presente na soja. Por outro lado, não houve diferença para o tipo de soja adicionado à silagem ($P > 0,05$; Tabela 2). A adição de soja, assim como de outros aditivos na ensilagem de grãos de milho, pode ser interessante por elevar o valor nutritivo do material, principalmente em relação ao teor de PB e energia. Assim sendo, Jobim et al. [23], ao realizarem estudos com silagem de grãos de milho úmidos com adição de grãos de soja, comprovaram a viabilidade e obtiveram resultados positivos, pois observaram aumento no teor de PB sem prejuízos à conservação do material ensilado. Com o aumento dos níveis de inclusão do grão de soja, é possível obter melhor valor nutritivo para a silagem, que, associada ao volumoso, pode atender às exigências alimentares dos ruminantes e, consequentemente, proporcionar um bom desempenho produtivo [2].

Os teores de EE apresentaram efeito para a interação, sendo verificado efeito linear crescente tanto para a adição de soja tostada quanto para a soja crua, à medida que se aumentaram os níveis de inclusão de soja ($P < 0,05$; Tabela 2). No entanto, a adição de 37,5 e 50 % de soja tostada resultou em valores superiores aos da soja crua. Esse fato pode ser explicado pelas perdas ocorridas durante o processo de tostagem, como a redução da umidade, o que ocasiona aumento na concentração da fração oleosa. De maneira geral, esse comportamento linear crescente do EE é atribuído ao alto teor de óleo presente no grão de soja. Segundo Bellaver et al. [24], a soja possui, em média, de 17 a 18 % de óleo, valor este muito acima do recomendado para dietas de ruminantes, que é em torno de 8 a 10 % de EE. De acordo com Valadares Filho e Pina [25], os lipídios, quando em excesso, podem interferir na fermentação ruminal dos animais ruminantes. Diante do exposto, seria aceitável até 37,5 % de inclusão do grão de soja na silagem de grão de milho reidratado, buscando-se, assim, garantir boa absorção de nutrientes pelos ruminantes.

O teor de FDN apresentou efeito para a interação, sendo constatado aumento linear no teor de FDN à medida que se elevaram os níveis de adição de soja, independentemente do tipo de soja (crua ou tostada) ($P < 0,05$; Tabela 2). Com exceção do nível de 12,5 % de adição de soja, onde não houve diferença entre os tipos de soja adicionados, observou-se que a adição de soja tostada resultou em teores de FDN superiores aos da soja crua ($P < 0,05$; Tabela 2). Esse resultado pode estar relacionado à concentração de componentes estruturais externos ao grão,

presente na soja, intensificados durante o processo de tostagem e ensilagem. A silagem de grãos reidratados ou úmidos pode apresentar diversos tipos de processamento. Além da temperatura, tempo e nível de inclusão, o teor de umidade na ensilagem também pode interferir na composição bromatológica do produto.

Houve efeito linear crescente para o teor de FDA com o aumento da inclusão de soja na silagem de grão de milho (P < 0,05; Tabela 2). Esse aumento pode ser atribuído ao maior teor de FDA presente no grão de soja, cuja casca possui elevada concentração de celulose, o que explica o maior teor de FDA na silagem e sua possível interferência na digestibilidade do alimento. Segundo Van Soest [12], os teores de FDN e FDA são negativamente correlacionados com o consumo e a digestibilidade. Em estudo realizado por Pinto et al. [26], ao avaliarem a qualidade da silagem de grãos úmidos de diferentes forrageiras, observaram que a silagem de girassol apresentou maior teor de FDA, devido ao maior teor de fibras presente nesse tipo de grão, como ocorre também com a soja. Nussio et al. [27], relataram que, para que a silagem interfira negativamente na digestibilidade, o teor de FDA deve ser em torno de 40 % ou mais, o que pode causar prejuízos à dieta animal.

Em relação à DIVMS, não foi observado efeito para a interação (P > 0,05; Tabela 2). Por outro lado, verificou-se decréscimo linear na DIVMS à medida que se aumentaram os níveis de inclusão do grão de soja na ensilagem de grão de milho (P < 0,05; Tabela 2), ou seja, quanto maior o nível de inclusão do grão de soja, menor foi a digestibilidade. Esse resultado pode ser atribuído ao aumento linear nos teores de FDN e FDA com a adição de soja, uma vez que teores mais elevados de fibra reduzem a digestibilidade. Segundo Van Soest [12], essas variáveis afetam negativamente o consumo e a digestibilidade. Outro fator limitante pode ter sido o aumento do teor de EE. De acordo com Valadares Filho e Pina [25], o excesso de lipídios pode interferir na fermentação ruminal e na ação de enzimas digestivas.

Em estudo realizado por Vasconcelos et al. [8], ao avaliar digestibilidade intestinal através da incubação *in situ* por 16 horas, usando a técnica dos três estágios, constatou que degradabilidade efetiva da MS com taxa de passagem de 5 %/hora para a soja crua (SC) foi de 71,94 % e tostada entre 52,23 % a 68,78 %. Em nosso estudo foi avaliado a digestibilidade *in vitro*, justificando a discrepância entre os resultados obtidos.

Estudos relatam que a silagem de grãos de milho úmidos ou reidratados apresenta aumento na digestibilidade da matéria seca. Em estudo realizado por Jobim et al. [23], os autores verificaram que a silagem de grãos úmidos com adição de 20 % de grão de soja reduziu a degradabilidade efetiva da matéria seca e da proteína bruta.

Foi observado aumento linear no teor de matéria mineral (MM) à medida que se aumentou o nível de inclusão do grão de soja na silagem de milho (P < 0,05; Tabela 2), resultado já esperado devido à quantidade de minerais presente no grão. O acréscimo de soja na ensilagem foi responsável pela melhora na qualidade nutricional do produto final, uma vez que a soja, em comparação a outras leguminosas, apresenta características mais favoráveis para uso em silagem, devido à sua composição nutricional mais rica [6].

De maneira geral, ao compararmos a silagem de grãos de milho reidratado com inclusão de grão de soja ao controle (silagem de grãos de milho sem soja), observamos que a adição de soja resultou em vantagens nutricionais significativas, como maior teor de PB, EE e MM (P < 0,05, Tabela 4). Esse fato pode ser atribuído à composição nutricional da soja, que elevou os teores desses nutrientes na silagem. Segundo Tres et al. [28], o aumento no teor de nutrientes da silagem é algo que desperta interesse aos produtores, especialmente por reduzir custos com o uso de concentrados.

Tabela 4. Comparação entre a mistura de grão de milho e soja reidratados com apenas o grão de milho reidratado.

Variável	Milho+soja	Milho	p-valor
pH	4,02 a	3,81 b	<0,01
MS	64,22 b	64,77 a	0,015
PB	17,01 a	8,33 b	<0,01
EE	8,55 a	4,69 b	<0,01
FDN	16,98 a	7,81 b	<0,01
FDA	8,92 a	3,6 b	<0,01
MM	2,77 a	1,49 b	<0,01
DIVMS	84,87 b	93,87 a	<0,01
Bactérias	8,50 a	7,33 b	<0,01
Fungos filamentosos	8,30 a	8,12 a	0,41

Letras iguais na mesma linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de significância; MS – Matéria seca; PB – Proteína bruta; EE – Extrato etéreo; FDN – Fibra em detergente neutro; FDA – Fibra em detergente ácido; MM – Matéria mineral; DIVMS - Digestibilidade in vitro da matéria seca.

A adição de grãos de soja à silagem traz vantagens significativas quanto à qualidade nutricional do produto, especificamente em relação aos teores de PB e EE. Esse comportamento está relacionado aos constituintes nutricionais da soja, que apresenta teores elevados teores de PB, variando entre 35 e 37 % de alto valor biológico, com boa composição de aminoácidos essenciais, além de 17 a 18 % de óleo, garantindo aporte proteico e energético [24]. Segundo Jobim et al. [23], a silagem de grãos de milho reidratado pode apresentar melhor valor nutritivo com adição de grãos de oleaginosas, sendo a soja uma alternativa. Nesse contexto, os autores destacam que, para se obter bons resultados, é fundamental garantir a eficiência na conservação desses alimentos, a fim de reduzir perdas nutricionais.

Em relação ao pH, observou-se um valor mais alto na silagem de grão de milho com inclusão de grãos de soja (4,02; P < 0,05; Tabela 4), em comparação à silagem exclusivamente de grãos de milho (3,81). Esse aumento pode ser atribuído à maior quantidade de compostos proteicos presentes na soja, os quais, segundo Jobim et al. [5], dificultam a redução do pH, exercendo influência negativa sobre essa variável. Além disso, Lempp et al. [14] relatam que, dependendo da concentração de soja adicionada ao milho, pode ocorrer diminuição nos níveis de carboidratos solúveis em água e aumento do poder tamponante, o que prejudica a fermentação láctica e interfere na acidificação da silagem.

Ao analisar a digestibilidade comparando a silagem de grãos de milho com inclusão de soja à silagem de grãos de milho reidratado, verificou-se que a silagem apenas de milho apresentou maior porcentagem de digestibilidade (P < 0,05; Tabela 4). Esse resultado é atribuído à melhor rota fermentativa durante o processo de ensilagem. Na silagem de grãos reidratados, há maior quebra da matriz proteica, o que promove maior disponibilidade dos grânulos de amido e favorece o processo fermentativo, resultando em uma silagem de melhor qualidade e, consequentemente, com maior digestibilidade para os animais [23; 4].

Ao compararmos a mistura de grãos de milho e soja reidratados com a silagem apenas de grãos de milho, nota-se que o crescimento de bactérias ácido-láticas foi maior na mistura com soja (P < 0,05; Tabela 4). Esse resultado já era esperado, uma vez que essa combinação apresentou composição bromatológica superior, impulsionada pela qualidade nutricional da soja e pela boa capacidade fermentativa durante a ensilagem, evidenciada pelos valores de pH. Ávila et al. [29], relatam que, quanto mais adequados os valores de pH ao processo fermentativo, menores serão os impactos sobre as características e qualidade da silagem.

No que diz respeito ao crescimento de fungos filamentosos e leveduras, não foram observadas diferenças entre a silagem de grãos de milho com inclusão de soja e a silagem exclusivamente de grãos de milho (P > 0,05; Tabela 5). O tipo de material ensilado pode ou não favorecer o desenvolvimento de microrganismos indesejáveis, cuja atividade está diretamente relacionada às condições da fermentação, como a redução do pH, teor de umidade e conteúdo de matéria seca [16].

4. Conclusão

A inclusão de grãos de soja na ensilagem de milho reidratado promoveu incremento na qualidade nutricional da silagem, com aumento progressivo nos teores de proteína, extrato etéreo e matéria mineral. Níveis de até 37,5% asseguraram adequada composição nutricional e digestibilidade, configurando como limite recomendado para utilização prática. A utilização de soja crua resultou em melhor perfil bromatológico, enquanto a soja tostada reduziu a ocorrência de fungos filamentosos e leveduras, favorecendo a estabilidade microbiológica do material ensilado. De forma geral, a adição de soja à silagem de milho reidratado representa uma estratégia eficiente para elevar o valor nutritivo e garantir a qualidade fermentativa.

Declaração de conflito de interesses

Os autores declaram não haver conflitos de interesse.

Declaração de disponibilidade de dados

O conjunto completo de dados que suporta os resultados deste estudo está disponível mediante solicitação ao autor correspondente.

Contribuições do autor

Conceituação: Prado, R. A. T. e Rezende, A. V.; Curadoria de dados: Prado, R. A. T., Faustino, T. F., Oliveira, T. E. e Rezende, A. V.; Análise formal: Faustino, T. F. Investigação: Prado, R. A. T., Faustino, T. F. e Oliveira, T. E.; Metodologia: Prado, R. A. T., Faustino, T. F., Oliveira, T. E. e Rezende, A. V.; Gerenciamento do projeto: Rezende, A. V.; Supervisão: Rezende, A. V.; Validação: Lima, S. J. F., Alves, A. C. R. e Portugal, J. M.; Visualização: Prado, R. A. T.; Redação (esboço original): Prado, R. A. T., Faustino, T. F. e Rezende, A. V.; Redação (revisão e edição): Lima, S. J. F., Alves, A. C. R., Portugal, J. M. e Oliveira, T. E.

Declaração de uso de IA generativa

Os autores não utilizaram ferramentas ou tecnologias de Inteligência Artificial generativa na criação ou edição de qualquer parte deste manuscrito.

Agradecimentos

Os autores agradecem à CAPES e à FAPEMIG pela concessão de bolsas de mestrado e doutorado.

Referências

1. Jobim, CC, Reis, RA, Rodrigues, LRD. Avaliação da silagem de grãos úmidos de milho. Pesquisa Agropecuaria Brasileira. 1997; 32(3):311-315. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab1997.v32.4641

2. Mombach MA, Pereira DH, Pina DS, Bolson DC, Pedreira BC. Silage of rehydrated corn grain. Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia. 2019;71(3): 959-966. Disponível em: https://doi.org/10.1590/1678-4162-9676

3. Benini MC, Carvalho WTV, Pereira RVG, Tavares QG, Minighin DC, Nunes RFJ, Souza LPF, Ribeiro CHM, Silva LV. Avaliação química da silagem de grão de milho reidratado em diferentes níveis de água. Pubvet. 2020;14(7):1-6. Disponível em: https://doi.org/10.31533/pubvet.v14n7a612.1-6

4. Rezende AV, Rabelo CHS, Veiga RM, Andrade LP, Harter CJ, Rabelo FHS, Basso FC, Nogueira DA, Reis RA. Rehydration of corn grain with acid whey improves the silage quality. Animal Feed Science and Technology. 2014;197:213-221. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.07.009

5. Jobim CC, Moyses CJ, Valter Harry BJ, Oliveira FL. Composição química e qualidade de conservação de silagens de grão de milho (*Zea mays* L.) com diferentes níveis de grãos de soja (*Glycine max* Merril). Semina Ciênc Agrár. 2010;31(3):773-781. Disponível em: https://doi.org/10.5433/1679-0359.2010v31n3p773

6. Gobetti STC, Neumann M, Oliveira M, Oliboni R. Produção e utilização da silagem de planta inteira de soja (*Glycine max*) para ruminantes. Ambiência. 2011;7(3):603-616. Disponível em: https://doi.org/10.5777/ambiencia.2011.03.02rb

7. Lima CB, Guilherme FP, Costa JVL, Lima Júnior DM, Mariz TMA, Pereira AP, Silva GM, Almeida AAC. Fatores antinutricionais e processamento do grão de soja para alimentação animal. Agropecuária Científica no Semiárido. 2014;10(4):24-33. Disponível em: https://doi.org/10.30969/acsa.v10i4.452

8. Vasconcellos AM, Dias M, Nascimento VA, Rogério MCP, Façanha DAE. Degradabilidade ruminal e digestibilidade intestinal dos grãos de soja cru e tostado em bovinos leiteiros. Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal. 2016;17(4):744-752. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S1519-99402016000400017

9. Ferreira WA. Armazenamento de grãos de cereais. In: Cereda MP, Sanches L. Manual de armazenamento e embalagem de produtos agropecuários. Botucatu: Unesp; 1983. p.96-128. Português.

10. Association of Official Analytical Chemists (AOAC). Official methods of analysis. 16th ed. Arlington: AOAC International; 1995. 1141p. English.

11. Association of Official Analytical Chemists (AOAC). Official methods of analysis. 15th ed. Washington, DC: AOAC; 1990. 1094p. English.

12. Van Soest PJ. Nutritional ecology of the ruminant. 2nd ed. Ithaca: Cornell University Press; 1994. 476p. English.

13. Tilley JMA, Terry RA. A two stage technique for in vitro digestion of forages crops. J Br Grassl Soc. 1963;18:104-111.

14. Lempp B, Moraes MG, Souza LCF. Produção de milho em cultivo exclusivo ou consorciado com soja e qualidade de suas silagens. Arq Bras Med Vet Zootec. 2000;52(3):243-249. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S0102-09352000000300013

15. Buxton DR, Muck RE, Harrison JH. Silage science and technology. Madison: ASA-CSSA-SSSA; 2003. 897p. English.

16. Macêdo AJS, Santos EM, Oliveira JS, Perazzo AF. Microbiologia de silagens: Revisão de Literatura. REDVET Rev Electr Vet. 2017;18(9):1-11. Disponível em: https://www.redalyc.org/pdf/636/63653009020.pdf

17. Pahlow G, Muck RE, Driehuis F, Oude Elferink SJWH, Spoelstra SF. Microbiology of ensiling. In: Buxton DR, Muck RE, Harrison JH. Silage science and technology. Madison: ASA-CSSA-SSSA; 2003. p.31-94. English.

18. Santos RD, Pereira LGR, Neves ALAL, Araújo GG, Voltolini TV, Brandão LGN, Aragão ASL, Dórea JRR. Características de fermentação da silagem de seis variedades de milho indicadas para a região semiárida brasileira. Arq Bras Med Vet Zootec. 2010;62(6):1423-1429. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S0102-09352010000600019

19. Jobim CC, Nussio LG, Reis RA, Schmidt P. Methodological advances in evaluation of preserved forage quality. Rev Bras Zootec. 2007;36:101-119. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S1516-35982007001000013

20. Muck RE. Silage microbiology and its control through additives. Rev Bras Zootec. 2010;39:183-191. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S1516-35982010001300021

21. Jobim CC, Reis RA, Rodrigues LRA. Avaliação da silagem de grãos úmidos de milho. Pesq Agropec Bras. 1997;32(3):311-315. Disponível em: http://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/view/4641

22. Benini MDC, Carvalho WTV, Pereira RVG, Tavares QG, Minighin DC, de Jesus Nunes R F, Souza LPF, Ribeiro CHM, Silva LV. Avaliação química da silagem de grão de milho reidratado em diferentes níveis de adição de água. Pubvet, 2020; 14(7):1-6. Disponível em: https://doi.org/10.31533/pubvet.v14n7a606.1-7

23. Jobim CC, Lombardi L, Macedo FAF, Branco AF. Silagens de grãos de milho puro e com adição de grãos de soja, de girassol ou ureia. Pesq Agropec Bras. 2008;43(5):649-656. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S0100-204X2008000500013

24. Bellaver C, Cotrefal G, Grecco M. Soja integral: processamento e uso. Aliment Anim. 2002;7:28-30.

25. Valadares Filho SC, Pina, DS. Fermentação Ruminal. In: Berchielli TT, PIRES AV, OLIVEIRA SG. Nutrição de Ruminantes. Jaboticabal: FUNEP; 2011. p.161-191. Português.

26. Pinto MS, Dias FJS, Costa KAP, Banys VL, Ribeiro MG. Qualidade da silagem de grãos úmidos de diferentes forrageiras. Gl Sci Technol. 2012;5(3):124-136.

27. Nussio LG, Simas JEC, Lima MLM. Determinação do ponto de maturidade ideal para colheita do milho para silagem. In: Nussio LG, Zopollato M, Moura JC. Milho para a silagem. Piracicaba: FEALQ; 2001. p.11-26. Português.

28. Tres TT, Jobim CC, Rossi RM, Silva MS, Poppi EC. Silagem de grãos de milho com adição de soja: estabilidade aeróbica e desempenho de vacas leiteiras. Rev Bras Saúde Prod Anim. 2014;15:248-260.

29. Avila NRB, Silva NCD, Leite RF, Florentino LA, Rezende AV. Utilização de silagem do grão de milho reidratado e de resíduo de tilápia na alimentação animal. Ciênc Anim. 2018;28(1):145-161. Disponível em: https://revistas.uece.br/index.php/cienciaanimal/article/view/11125