

## Avaliação da distribuição de partículas em amostras de silagens de milho utilizando a metodologia Penn State Particle Separator

### Evaluation of particle distribution in corn silage samples using the Penn State Separator methodology

Pedro Silva de Oliveira<sup>1</sup>; Josimar Rezende da Silva<sup>2</sup>; Isabella Carolina Cerqueira Barbosa<sup>3</sup>

---

1 - Professor do Curso de Medicina Veterinária na FUPAC. E-mail: pedro.oliveira@unipac.br

2 - Graduando do Curso de Medicina Veterinária na FUPAC – 202-000055@aluno.unipac.br

3 - Graduando do Curso de Medicina Veterinária na FUPAC. Programa de Bolsa de Iniciação Científica (PROBIC) - 202-000230@aluno.unipac.br

**Resumo:** No processo de conservação de forragens como silagem, o tamanho de corte afeta a eficiência de compactação, condição de anaerobiose e tempo de fechamento do silo, afetando a qualidade nutricional da silagem. Em 1996 foi criada pela Universidade do Estado da Pensilvânia um método físico auxiliar na avaliação da fibra e dietas para bovinos a primeira Penn State Particle Separator (PSPS). Foi realizado um estudo com o objetivo de avaliar o tamanho de partículas, utilizando a metodologia PSPS em amostras de silagem de milho produzidas em propriedades leiteiras em regiões do sudeste do Estado de Minas Gerais. Com base nos dados obtidos com a aplicação da metodologia Penn State na avaliação das 34 amostras de silagens produzidas entre 2022 e 2023, concluiu-se que diante da variabilidade nos tamanhos de partículas retidas nas duas peneiras e de grãos inteiros, representada graficamente, pelos valores máximos, mínimos e outliers, a maioria das silagens mostrou-se despadronizadas com relação aos percentuais preconizados pela técnica, indicando a necessidade de adequação efetiva das Práticas de produção dessas silagens, que refletirá na qualidade e consumo das dietas e na produção dos animais.

**Palavras-chaves:** Ensilagem. Fibra. Ruminantes. Penn State.

**Abstract:** In the process of conservation of forages such as silage, the cutting size affects the compaction efficiency, anaerobic condition and silo closing time, affecting the nutritional quality of the silage. In 1996, the first Penn State Particle Separator (PSPS) created an auxiliary physical method for evaluating fiber and diets for cattle at Pennsylvania State University. A study was carried out with the objective of evaluating particle size, using the PSPS methodology in samples of corn silage produced on dairy properties in southeastern regions of the State of Minas Gerais. Based on the data obtained with the application of the Penn State methodology in the evaluation of 34 silage samples produced between 2022 and 2023, it was concluded that given the variability in particle sizes retained in the two sieves and whole grains, represented graphically, by the values maximums, minimums and outliers, the majority of silages were found to be non-standard in relation to the percentages recommended by the technique, indicating the need for effective adaptation of the production practices of these silages, which will reflect on the quality and consumption of diets and animal production.

**Keywords:** Silage. Fiber. Ruminants. Penn State

## Introdução

Na produção de ruminantes a alimentação é um dos itens de maior custo, demonstrando a importância do acompanhamento de todo processo que envolve a nutrição dos animais. Em formulações de dietas e no estabelecimento dos processos de arrazoamento, os nutricionistas partem do princípio de que toda porção ingerida pelos animais seja efetivamente, de dieta balanceada baseando-se nas relações da adequada nutrição para melhor suportar as funções de manutenção, crescimento e produção dos animais em questão (Da Costa Júnior, 2017). Entretanto, além disso, deve ser considerada a estrutura da dieta ofertada, visto que o teor de fibra (FDN), matéria seca e tamanho de partícula têm influenciam direta sobre a quantidade consumida pelos animais (ZEBELLI et al., 2012). A utilização de tecnologias para produção de alimentos é fator primordial, especialmente no caso de forragens conservadas como silagens e fenos, que podem ter seu valor alimentício alterado em razão do processo de produção e conservação (Jobim et al., 2012). O tamanho de partícula do material ensilado é um dos fatores que afetam o valor nutritivo da silagem, uma vez que, interfere no tempo de fechamento do silo, na eficiência da compactação e, conseqüentemente, na

condição de anaerobiose, decisiva no processo de conservação da silagem. Em 1996 foi criada a primeira Penn State Particle Separator (PSPS) pela Universidade do Estado da Pensilvânia, metodologia simples para realização do cálculo da Fibra fisicamente efetiva (FDNfe), contendo um conjunto de duas peneiras, com 19 e 8 mm de porosidade. Em 2003 a mesma Universidade lançou um novo modelo, introduzindo uma tela de 1,18 mm na terceira peneira, adicionando novo dado para o cálculo. Contudo, quando se trabalha com dietas totais que possuem altas concentrações de grãos, a quantidade de alimento que fica retida na terceira peneira é maior, e grande parte dessas partículas, são carboidratos não estruturais, facilmente fermentados e com elevada taxa de passagem. Com isto, em 2013 os mesmos pesquisadores projetaram uma nova peneira, substituindo a tela de 1,18 mm por uma peneira com 4 mm de porosidade, justificando que algumas das partículas retidas na peneira de menor porosidade também podem ser rapidamente degradadas, porém são significativas no tamponamento do rúmen (Zebeli et al., 2012; Kononoff et al., 2003). A forrageira mais utilizada para a fabricação de silagem tradicionalmente é a planta de milho, isso se deve a sua composição bromatológica, que preenche os requisitos para a confecção de uma

silagem de boa qualidade, sendo estes, o teor de matéria seca entre 30-35%, com no mínimo 3% de carboidratos solúveis na matéria original, baixo poder tampão e propiciar boa fermentação microbiana (Soares, 2017). Segundo Fox e Tedeschi (2004), para estabelecimento dos requerimentos de fibra dietética para atingir determinado desempenho animal, diversas variáveis deveriam ser consideradas, tais como, o nível de consumo de carboidratos estruturais e não estruturais, e suas respectivas taxas de degradação e de passagem; os efeitos do consumo de fibra e do tamanho de partículas sobre a ruminação e o pH ruminal; os requerimentos nitrogenados e a produção dos microrganismos ruminais; a digestão intestinal; e os requerimentos dos tecidos do hospedeiro. No Brasil, os conceitos sobre a efetividade da fibra não são muito difundidos entre os pecuaristas e as peneiras da PSPS na maioria das fazendas não é utilizada para averiguar o tamanho das partículas das dietas (Cunha, 2019). Com base nesses fatores, é importante que os produtores e nutricionistas conheçam as implicações que o tamanho de partícula tem sobre a saúde ruminal e conseqüentemente sobre a saúde do animal. Assim o objetivo desse estudo foi fazer a avaliação do tamanho de partículas, utilizando a metodologia PSPS em amostras de silagem

de milho produzidas em propriedades leiteiras das regiões Alto Paraopeba, Campos das Vertentes e Zona da Mata, no Estado de Minas Gerais e com base na literatura, inferir sobre suas implicações na dieta de bovinos.

### **Material e Métodos**

O estudo foi executado pelos acadêmicos de Medicina Veterinária Isabella Carolina Teixeira e Josimar Rezende da Silva, a partir do projeto aprovado pelo Programa de Bolsa de Iniciação Científica (PROBIC), da Faculdade Presidente Antônio Carlos de Conselheiro Lafaiete (FUPAC Lafaiete), Edital 20022/2º Semestre. No período de fevereiro a outubro de 2023, 34 amostras de silagens de milho, de aproximadamente 1 kg, produzidas durante 2022 e 2023, com ensiladeiras acopladas ao trator, obtidas junto aos produtores das regiões; Alto Paraopeba, Campos das Vertentes e Zona da Mata, e uma amostra do Sul de Minas, que foi colhida com ensiladeira autopropelida, foram avaliadas através do conjunto de peneiras separadoras, conforme a metodologia Penn State (Lammers et al., 1996) em que o autor propôs a utilização de um conjunto composto por duas peneiras mais o fundo, sendo a primeira peneira com crivos de 19 mm, a segunda peneira com

crivos de 8 mm e um fundo fechado (Figura1).



**Figura 1-** Conjunto de peneiras Penn State utilizado nas avaliações.

As avaliações foram conduzidas no Laboratório de Química da Fundação Presidente Antônio Carlos, de Conselheiro Lafaiete. Para cada amostra pesou-se 500g de silagem fresca, utilizando uma balança analítica da marca Shimadzu Ay 2220, colocando-se sobre a peneira superior (19 mm), para a agitação sistematizada em bancada de superfície plana e lisa, que consistiram em movimentos de vai e vem cinco vezes de cada lado, em dois giros completos, totalizando 40 ciclos. Os dados eram anotados e os cálculos de porcentagem de partículas retidas foram realizados de forma direta, considerando o somatório dos pesos da fração retida em cada peneira, descontando-se a tara do

recipiente utilizado para as pesagens, um Becker de 200 ml. Durante a avaliação de cada amostra, também foi realizada a contagem de grãos inteiros retidos na peneira de 8 mm. Os percentuais de partículas retidas em cada peneira e de grãos inteiros retidos na peneira 8 mm foram tabulados para serem analisados estatisticamente. Por se tratar de um ensaio não paramétrico, a hipótese de Normalidade dos dados foi avaliada pelo Teste Shapiro-Wilk e pelo Teste de Wilcoxon, assim desenvolveu-se uma análise exploratória, descritiva e comparativa através de um valor de medida de tendência central, a mediana e medidas de utilizando-se o Software estatístico R com nível de significância de 5% (R Core Team, 2018).

## Resultados e Discussão

Na Tabela 1 podem ser observados os percentuais de partículas retidas nas peneiras 19 mm, 8 mm, fundo e número de grãos retidos na peneira de 8 mm, tendo como referência as faixas preconizadas no método da Penn State.

**Tabela 1-** Amostras de silagens de milho, coletadas em diferentes municípios e respectivos valores percentuais de retenção de partículas nas peneiras.

Amostra/Município	P 19	P 8	Fundo	Grãos
Carandaí	3,8	48,6	47,6	--
Lamim	3,8	31,8	47,6	--
Ouro Branco	2,9	36,8	47,6	--
Catas Altas da Noruega	3,4	31,3	47,6	--
Conselheiro Lafaiete	2,6	41,6	47,6	--
Ouro Branco	2,5	43,6	47,6	--
Coronel Xavier Chaves	15,3	40,9	47,6	--

Queluzito	30,85	40,60	24,45	10,00
Queluzito	70,26	23,54	6,14	14,40
Ouro Branco	89,45	5,96	4,13	5,20
Ouro Branco	8,48	57,87	33,03	4,30
Catas Altas da Noruega	12,11	61,57	27,89	2,19
Piranga	13,15	63,83	29,79	1,51
Carandaí	5,70	67,08	29,40	3,76
Casa Grande	30,58	47,97	21,34	4,07
Entre Rios	31,68	41,12	26,63	1,17
Desterro de Entre Rios	9,65	58,36	31,49	2,24
Três Corações	11,64	62,98	24,93	0,00
Conselheiro Lafaiete	8,77	48,74	21,69	1,88
Ouro Branco	5,86	53,16	40,25	0,28
Ouro Branco	5,61	50,89	42,22	0,33
Catas Altas da Noruega	4,60	31,36	45,40	0,00
Ouro Branco	6,95	56,49	35,74	0,00
Catas Altas da Noruega	2,56	42,19	54,33	0,00
Catas Altas da Noruega	5,00	45,11	49,05	0,00
Ouro Branco	6,60	51,70	40,74	0,67
Ouro Branco	7,95	52,23	38,75	2,22
Desterro de Entre Rios	8,98	50,36	31,99	0,00
Casa Grande	19,7	54,39	22,96	0,00
Capela Nova	19,08	52,17	28,82	4,83
Senhora de Oliveira	27,62	50,33	21,56	0,00
Rio Espera	19,00	55,11	25,79	0,21
Congonhas	5,80	55,77	37,29	0,00
Cristiano Ottoni	16,92	54,17	28,69	0,00

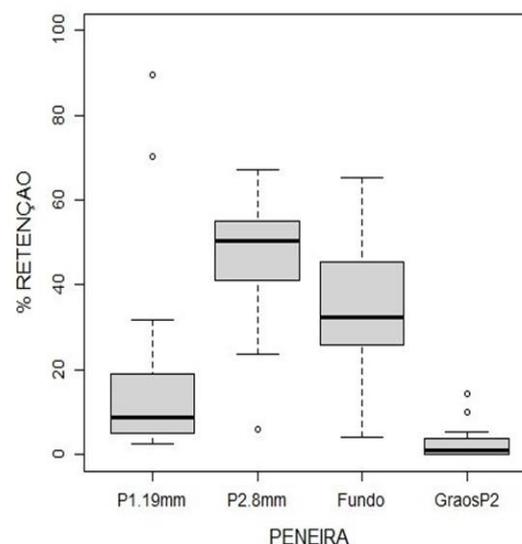
Realizando-se uma comparação estritamente, numérica dos dados em relação aos percentuais de retenção de partículas para silagem de milho que foram propostos por Heinrichs e Jones (2013) citados por Barretta; Danieli; Schogor (2018), observa-se que na peneira 19 mm, das 34 propriedades 12 produziram silagens com percentuais de retenção de partículas entre 3 a 8%, na faixa recomendada, 4 apresentaram partículas menores que 3 mm e 18 propriedades produziram silagens com partículas maiores que 8 mm, o que permite inferir sobre a importância da regulagem e

afiação das facas nas ensiladeiras, velocidade adequada e da correta definição da idade de maturação da planta para o ponto de corte, aspectos determinantes para a produção de silagens de qualidade. Nússio et al., (2001), destacaram que erros durante o processo de ensilagem são comuns e estão atrelados principalmente, a regulagem de máquinas, observando-se a campo, silagens que apresentam grande quantidade de partículas grandes, acima de 19 mm, o que dificulta a compactação, reduz a quebra e o aproveitamento dos grãos. E serão desperdiçadas em decorrência da seleção

pelo animal (Pellegrini et al., 2020). Seguindo na comparação numérica com os dados obtidos na peneira de 8 mm, 21 propriedades alcançaram uma retenção de partículas dentro da faixa estabelecida, entre 45 a 65%. Possato, (2022) destacou que as partículas que ficam na peneira de 8 mm estariam dispersas no emaranhado de partículas que compõe o líquido ruminal, podendo também estimular a ruminação. Entretanto, conforme citado na metodologia, por se tratar de um ensaio não paramétrico, a hipótese de Normalidade dos dados foi rejeitada pelo Teste Shapiro-Wilk e pelo Teste de Wilcoxon ficando evidenciado que as respectivas médias se encontravam dentro dos intervalos de referência nas peneiras 19 mm, 8 mm, fundo e Grãos retidos na peneira 8 mm, sendo assim, desenvolveu-se a análise exploratória, descritiva e comparativa dos dados através de um valor de medida de tendência central, a mediana e medidas de variabilidade representados graficamente por meio de Box-plot. A estatística descritiva dos dados ratifica as comparações numéricas feitas anteriormente. Analisando os diagramas de caixa apresentados no Gráfico 1, observa-se que na peneira 19 mm o valor mediano encontra-se dentro percentual de retenção de referência, 3 a 8%, mas havendo predominância de partículas bem maiores

que 19 mm e a ocorrência dois valores extremos ( *outliers*), estas observações corroboram com as inferências sobre a importância de se amolar e regular os elementos cortantes nas ensiladeiras, ajustar corretamente a velocidade de tração e atenção especial ao ponto de colheita da lavoura.

**Gráfico 1-** Box-plot das Amostras de silagens de milho, coletadas em diferentes municípios e respectivos valores percentuais de retenção de partículas nas peneiras: 19 mm, 8 mm e no fundo e de grãos retidos na peneira de 8 mm.



Relativo à peneira 8 mm, o valor mediano do percentual de partícula está dentro da referência, 45 a 65%, tendo sido observado nessa peneira maior percentual de silagens com tamanhos de partículas iguais ou inferiores a 8 mm e um *outlier*, o que pode ser explicado por falhas na produção, principalmente, no processamento de corte em algumas silagens, cuja maior quantidade de partículas, por serem grandes, ficou retida

na primeira peneira. Nas peneiras de 19 mm e 8 mm ficam retidas as partículas de maiores tamanhos, são as que apresentam grande influência sobre a ruminação e produção de saliva pela vaca. De acordo com Peres (2001), partículas com tamanho entre 19 mm e 8 mm representam a fibra com tamanho ainda suficiente para estimular a ruminação, fornecem maior área superficial para adesão de bactérias no rúmen e diminuem a taxa de passagem. Normalmente, é dado maior ênfase a segunda peneira, 8 mm, pois tem se notado que mesmo com uso de dietas aparentemente bem supridas de fibra efetiva, ainda assim acabam resultando em problemas aos rebanhos. Para correção da falta de fibra efetiva se adiciona mais fibra à dieta dos animais (SOARES, 2017). No fundo do conjunto de peneiras ficaram depositadas as partículas menores que 8 mm, cujo valor de mediana apresentou-se bem acima da referência, devido ao fato de que nesse ensaio não foi utilizado a terceira peneira com crivo de 4 mm, na qual o percentual de referência para silagem de milho é de 20 a 30%. Considerando que o foco do estudo estava em avaliar as frações relacionadas diretamente da efetividade física da fibra, o seja, tamanhos de partículas entre 19 e 8 mm, optou-se por utilizar as duas peneiras e o fundo, segundo descrito por Lammers et al., (1996). Farina,

Rotta e Marcondes, (2021) esclareceram que somente o material retido nas peneiras de 19 mm e 8 mm fornecem fibra fisicamente efetiva nas dietas das vacas em lactação, as partículas retidas nas peneiras de 4 mm e fundo, por serem menores vão direto para a parte mais inferior do rúmen, por isso, na prática alguns nutricionistas estão retirando a peneira de 4 mm para realizar a avaliação com a Penn State Box, e utilizando o valor de 30 a 40% recomendado para a peneira de 4 mm mais o valor para a peneira do fundo. E em relação aos valores de grãos inteiros retidos na peneira de 8 mm, foi observado como medida de tendência central, a mediana inferior a 1%, porém com variabilidade se mostrou crescente e observou-se a ocorrência de dois *outliers*, indicando uma alta quantidade de grãos inteiros nessas duas amostra. Estudando o perfil granulométrico e digestibilidade do amido da silagem de milho, Buriol et al., (2021), citando Zopollatto et al., (2009), explicaram que no passado acreditava-se que a melhor absorção do amido ocorria quando os grãos eram apenas parcialmente quebrados, atualmente, há consenso sobre quanto maior a exposição das partículas de amido, maior será a atuação dos microrganismos ruminais e maior será o aproveitamento. Há no mercado, colhedoras munidas de um dispositivo denominado cracker, que

permite a fragmentação dos grãos e altera de forma positiva a disponibilidade de nutrientes do material ensilado, tanto para o processo fermentativo quanto para os animais, entretanto, além do alto custo, a presença de áreas declivosas que dificultam a colheita e limitam os empregos dessas máquinas (BURIOL et al., 2021). Para o processamento de grãos de maneira satisfatória, geralmente ocorrerá à custa da redução no tamanho de partícula da fração fibrosa, refletindo negativamente na capacidade desta fração em estimular a ruminação, aumentando a probabilidade de ocorrência de acidose ruminal subclínica e consequente depressão da gordura do leite (Dias, 2016).

## Conclusão

Com base nos dados obtidos com a aplicação da metodologia Penn State na avaliação das 34 amostras de silagens, concluiu-se que diante da variabilidade nos tamanhos de partículas retidas nas duas peneiras e de grãos inteiros, representada graficamente, pelos valores máximos, mínimos e outliers, a maioria das silagens mostrou-se despadronizadas com relação aos percentuais preconizados pela técnica, indicando a necessidade de adequação efetiva das Práticas de produção dessas silagens, que refletirá na qualidade e

consumo das dietas e na produção dos animais.

## Agradecimentos

À Diretora Acadêmica, Prof.<sup>a</sup> Ana Carolina Chaves Ferreira, à Coordenadora do Curso de Medicina Veterinária, Prof.<sup>a</sup> Ivana Maria de Carvalho Siqueira, ao Prof. Stefan Willian Oliveira da Silva, Chefe da Coordenação de Iniciação Científica e ao Programa de Bolsa de Iniciação Científica da FUPAC Lafaiete.

Aos Professores: Caio Monteiros, Grace M. Miranda de Paula, Tamara Cristina Moreira Lopes.

À Técnica do laboratório de Química Ana Paula Magalhães.

## Referências

- BARRETTA, D. A., DANIELI, B., SCHOGOR, A. L. B., Penn State: a evolução do conjunto de peneiras. Milk Point, 2018. Disponível em <https://www.milkpoint.com.br/artigos/producao-de-leite/a-evolucao-do-conjunto-de-peneiras-chamado-penn-state-particle-size-separator>. Acesso em: 17 de junho 2023.
- BURIOL, Lisandro Rodrigo; TORTELI, Selio Roque; BATTISTON, Joziane; LAJÚS, Cristiano Reschke. Perfil granulométrico e digestibilidade do amido da silagem de milho submetida a diferentes processamentos. Brazilian Journal of Development, Curitiba, v.7, n.4, p. 39680-39710 apr 2021.
- CUNHA, G. S. P. Fibra fisicamente efetiva e parâmetros fecais em confinamentos de bovinos de corte. Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Amália Saturnino Chaves 2019. 47 f.: Il., Dissertação (Mestrado em Produção Animal) Universidade Federal de Minas Gerais / Instituto de Ciências Agrárias, Montes Claros, 2019.
- DA COSTA JÚNIOR, J. R. et al. Fatores que influenciam a qualidade de mistura em dietas de confinamento. Anais da Semana do Curso de Zootecnia-SEZUS, v. 10, n. 1, 2017.
- DIAS, S. G. J. Processamento de silagem de milho e suplementação de vacas leiteiras com enzimas fibrolíticas. 180f. Tese (Doutorado em Ciências Veterinárias), Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, 2016.
- FARINA, Géssica; ROTTA, Polyana; PIZZI; MARCONDES, Marcos Inácio. Produção de volumosos para bovinos leiteiros no sul do Brasil. UFV:Viçosa, 2021. 68 p.

FOX, D. G.; TEDESCHI, L. O.; Tylutki, T. P. et al. The Cornell Net Carbohydrate and Protein System model for evaluating herd nutrition and nutrient excretion. *Animal Feed Sci. Technol.*, v. 112, p. 29-78, 2004.

HEINRICHES J & JONES CM. 2013. The Penn State Particle Separator. DSE 2013– 186. Disponível em: <https://extension.psu.edu/penn-state-particle-separator>. Acesso em: 28 de outubro de 2022.

JOBIM, Clóves Cabreira et al. Avanços metodológicos na avaliação da qualidade da forragem conservada. *Revista Brasileira de Zootecnia*, p. 101-119, 2012.

KONONOFF, P. J.; HEINRICHES, A. J.; BUCKMASTER, D. R. Modification of the Penn State forage and total mixed ration particle separator and the effects of moisture content on its measurements. *Journal of dairy science*, v. 86, n. 5, p. 1858-1863, 2003. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030203737734>. Acesso em: 17SET. 2022.

LAMMERS, B.P.; BUCKMASTER, D.R.; HEINRICHES, A.J. A simple method for the analysis of particle size of forage and total mixed rations. *Journal of Dairy Science*, v.79, p.922- 928, 1996.

NUSSIO, Luiz Gustavo e SIMAS, J M C de e LIMA, M L M. Determinação do ponto de maturidade ideal para colheita do milho para silagem. 2001, Anais.. Piracicaba: FEALQ, 2001. . Acesso em: 23 jan. 2023.

PELLEGRINI, A., BIAZUSSI, L. M., BATTISTON, J., LINK, A. Avaliação do tamanho de partículas de silagens de milho em propriedades leiteiras do Oeste Catarinense. *Anuário de Pesquisa e Extensão da UNOESC*. Editora UNOESC: São Miguel do Oeste, 2020. Disponível em: <https://periodicos.unoesc.edu.br/apeuv/templates>. Acesso em janeiro 2023.

PERES, José Roberto. Novos usos da peneira para determinação do teor de fibra das dietas. 2001. Disponível em: <https://www.milkpoint.com.br/radar-tecnico/nutricao/novos-usos-dapeneira-para-determinacao-do-teor-de-fibra-das-dietas-15862n.aspx>;. Acesso em: 10 outubro 2023.

POSSATO, Bruno Mateus. NUTRIÇÃO DE PRECISÃO PARA VACAS LEITEIRAS. 2021. 59 f. Monografia (Especialização) - Curso de Zootecnia, Universidade Federal do Tocantins, Araguaia, 2021.

R Core Team (2023). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

SOARES, Carolina Carneiro. Avaliação de silagens de milho produzidas por associados à Cooperativa agroindustrial Alfa – Regional de Xaxim. Orientador: Marcos da Silva Azevedo. 2017. 26 p. Trabalho de conclusão de Curso (Graduação) - Curso de Medicina Veterinária, Universidade Federal de Santa Catarina, Curitiba, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/25/browsetype=subject&value=Silagem>. Acesso em 14 09 2022.

ZEBELI, Q.; ASCHENBACH, J. R.; TAJAJ, M. et al. Invited review: Role of physically effective fiber and estimation of dietary fiber adequacy in high-producing dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, v. 95, n. 3, p. 1041-1056, 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S002203021200063X>. Acesso em: 17 SET. 2022.