

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA E ZOOTECNIA

LUIZA PASSOS DE SOUSA

**MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DO PROCESSAMENTO DE GRÃOS NA ENSILAGEM
DE MILHO PLANTA INTEIRA**

Uberlândia – MG

2026

LUIZA PASSOS DE SOUSA

**MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DO PROCESSAMENTO DO GRÃO NA ENSILAGEM
DE MILHO PLANTA INTEIRA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
coordenação do curso de graduação em
Zootecnia da Universidade Federal de
Uberlândia como requisito parcial para
obtenção do título de bacharel em Zootecnia.

Orientador(a): Profa. Eliane da Silva Morgado

Uberlândia – MG

2026

Dedico este trabalho a Deus, por me conceder força e sabedoria ao longo desta caminhada, e aos meus pais, Paulo e Edna, e à minha irmã, Lorena, por serem meu alicerce e por sempre acreditarem em mim.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, por me conceder saúde, força e sabedoria para superar os desafios ao longo desta caminhada e por me permitir alcançar mais esta conquista.

Aos meus pais, Paulo e Edna, por me ensinarem, por meio do exemplo, o valor do trabalho, da honestidade e da perseverança. Obrigada por cada renúncia, por cada incentivo e por cada oportunidade que me proporcionaram. Esta conquista é tão minha quanto de vocês.

À minha irmã, Lorena, por nunca medir esforços para incentivar o meu crescimento. Você sempre acreditou no meu potencial e me mostrou que eu era capaz de conquistar os meus objetivos. Obrigada por fazer parte de quem eu sou e de tudo o que construí até aqui. Grande parte desta conquista também tem a sua contribuição.

Ao meu namorado, Alison, por todo o companheirismo ao longo da graduação. Obrigada por estar presente em cada etapa dessa caminhada, por ouvir pacientemente minhas explicações sobre as disciplinas, por celebrar cada conquista ao meu lado e por tornar os dias difíceis muito mais leves. Esta conquista também carrega um pouco da sua dedicação, do seu apoio e do seu carinho.

Aos meus amigos, obrigada por todos os momentos compartilhados durante essa caminhada. Cada amizade deixou aprendizados, boas lembranças e contribuiu, de alguma forma, para a minha formação.

Por fim, à minha orientadora, Professora Dra. Eliane da Silva Morgado, pela confiança, orientação e pelos ensinamentos compartilhados ao longo deste trabalho. Obrigada pela dedicação, paciência e por contribuir de forma tão importante para a minha formação acadêmica e profissional.

RESUMO

A avaliação do grau de processamento do grão de milho é uma etapa importante para determinar a qualidade da silagem, uma vez que, influencia diretamente a disponibilidade do amido e seu aproveitamento pelos ruminantes. Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo comparar o método de peneiramento em peneira de 4,75 mm e o método digital por análise de imagens utilizando o aplicativo SilageSnap na avaliação do processamento do grão no processo de ensilagem do milho planta inteira. O experimento foi conduzido na Fazenda do Glória, pertencente à Universidade Federal de Uberlândia, no setor de bovinocultura de leite (SEBOL), durante o período de ensilagem da planta do milho. Foram coletadas 16 amostras compostas diretamente do material descarregado no silo trincheira antes da compactação. Para o método digital, utilizou-se subamostras de 20 g, submetidas à lavagem em água para separar os grãos, preparo e análise pelo aplicativo SilageSnap. Para o método do peneiramento, foram utilizadas subamostras de 100 g, submetidas à lavagem em água para separar os grãos, secagem, peneiramento em peneira de 4,75 mm e determinação da porcentagem de partículas passantes. Os dados obtidos foram analisados em delineamento inteiramente casualizado, sendo as médias comparadas pelo teste F, ao nível de 5% de significância. O método do peneiramento apresentou média de 53,97% de partículas abaixo de 4,75 mm, enquanto o aplicativo SilageSnap apresentou média de 61,36%, sendo observada diferença significativa entre os métodos. O aplicativo SilageSnap apresentou potencial como ferramenta para avaliação do processamento do grão de milho, estimando percentuais de partículas abaixo de 4,75 mm superiores aos obtidos pelo método de peneiramento. Nas condições em que este estudo foi conduzido, o método de peneiramento mostrou-se mais prático para a execução a campo.

Palavras-chave: peneiramento; processamento do grão; silagem de milho; SilageSnap.

ABSTRACT

The evaluation of the degree of corn kernel processing is an important step in determining silage quality, as it directly influences starch availability and its utilization by ruminants. In this context, the present study aimed to compare the 4.75-mm sieve method and a digital image analysis method using the SilageSnap application for evaluating kernel processing during whole-plant corn ensiling. The experiment was conducted at Fazenda do Glória, belonging to the Federal University of Uberlândia, in the Dairy Cattle Sector (SEBOL), during the whole-plant corn ensiling period. Sixteen composite samples were collected directly from the material unloaded into the bunker silo before compaction. For the digital method, 20-g subsamples were washed with water to separate the kernels, prepared, and analyzed using the SilageSnap application. For the sieving method, 100-g subsamples were washed with water to separate the kernels, dried, sieved through a 4.75-mm sieve, and the percentage of particles passing through the sieve was determined. Data were analyzed using a completely randomized design, and means were compared by the F-test at a 5% significance level. The sieving method showed a mean of 53.97% of particles below 4.75 mm, whereas the SilageSnap application showed a mean of 61.36%, with a significant difference between the methods. The SilageSnap application showed potential as a tool for evaluating corn kernel processing, estimating higher percentages of particles below 4.75 mm than those obtained by the sieving method. Under the conditions in which this study was conducted, the sieving method proved to be more practical for field application.

Keywords: corn silage; kernel processing; SilageSnap; sieving.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	REFERENCIAL TEÓRICO	2
2.1	Silagem de milho	2
2.2	Processamento do grão de milho na ensilagem	3
2.3	Técnicas para avaliar o processamento do grão de milho.....	5
3	MATERIAL E MÉTODOS	8
3.1	Uso da peneira de 4,75 mm	8
3.2	Uso do aplicativo SilageSnap	9
3.3	Análise estatística	11
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	11
5	CONCLUSÃO	12
	REFERÊNCIAS	13

1 INTRODUÇÃO

A silagem de milho de planta inteira é um alimento conservado amplamente utilizado na alimentação de ruminantes, especialmente em sistemas de produção de bovinos leiteiros, devido ao elevado potencial de produção por área, menores custos de colheita, flexibilidade de utilização da cultura e ao bom valor nutricional para esses animais. Entretanto, a qualidade desse alimento pode ser influenciada por práticas relacionadas à colheita, como estágio de maturidade da planta, tamanho teórico do corte, altura do corte e o processamento dos grãos. Entre essas práticas, o processamento adequado dos grãos apresenta importante influência sobre a disponibilidade e a digestibilidade do amido, que contribui para o aproveitamento dos nutrientes da silagem pelos animais (Ferrareto, Shaver e Luck, 2018).

O processamento do grão de milho durante a colheita promove a fragmentação dos grãos e o rompimento do pericarpo, o que favorece a digestão do amido, por facilitar o acesso dos microrganismos ruminais e das enzimas digestivas ao conteúdo amiláceo, e consequentemente, aumenta a sua digestibilidade e disponibilidade para o animal. Dessa forma, o processamento adequado pode contribuir para maior aproveitamento do amido da silagem, e assim, aumentar o desempenho produtivo dos animais (Salvati et al., 2021).

A eficiência do processamento dos grãos além de ser influenciada pelo estágio de maturação da planta e o tamanho teórico de corte, fatores operacionais como a regulação do processador de grãos (*cracker*) e a abertura entre seus rolos (*roll gap*), possuem grande importância, pois ajustes inadequados desses componentes podem resultar em menor fragmentação dos grãos e reduzir a disponibilidade do amido, comprometendo o valor nutritivo da silagem. Em contrapartida, regulagens adequadas favorecem maior ruptura da estrutura do grão e melhor aproveitamento energético pelos ruminantes (Saylor et al., 2021a).

A avaliação do processamento do grão é tradicionalmente realizada por meio da análise laboratorial do *Kernel Processing Score* (KPS), que avalia o grau de processamento dos grãos com base na proporção de amido que passa pela peneira de 4,75 mm. Embora seja uma metodologia amplamente utilizada, sua determinação envolve etapas de preparo da amostra, peneiramento e quantificação do amido que passa pela peneira de 4,75 mm, o que torna o procedimento mais laborioso, que demanda tempo e limita sua aplicação para avaliações rápidas durante a colheita (Ferrareto; Shaver, 2012; 2015; Dias Junior, et al., 2016).

Com finalidade de avaliar o processamento dos grãos do processamento dos grãos na silagem de milho, diferentes metodologias têm sido desenvolvidas. Savoie et al. (2004),

avaliaram a técnica de separação hidrodinâmica, que permite separar os grãos e seus fragmentos da fração fibrosa da silagem com base na diferença de densidade, permitindo separar os grãos e seus fragmentos, que ficam no fundo, da fração fibrosa que fica flutuando em meio aquoso. Posteriormente, essa abordagem foi utilizada para a avaliação do processamento dos grãos em condições de campo. Dimas (2025) descreve o método de flotação da silagem em água, seguida por coleta e secagem dos grãos e seus fragmentos e, posterior peneiramento em peneira de 4,75 mm. Segundo o autor, a proporção de grãos que atravessa essa peneira pode ser utilizada como uma avaliação simplificada do processamento dos grãos, o que permite o monitoramento da eficiência do processamento durante a colheita.

Com o avanço das tecnologias digitais, novas ferramentas passaram a ser utilizadas para auxiliar na avaliação do processamento dos grãos. Entre elas destaca-se o aplicativo SilageSnap, desenvolvido pela Universidade de Wisconsin–Madison, que utiliza análise de imagens para estimar o grau de processamento dos grãos de milho. A proposta da ferramenta é oferecer uma alternativa prática para utilização em campo, permitindo avaliações rápidas e auxiliando na regulação das colhedoras durante o processo de ensilagem (Luck, 2020).

Embora o SilageSnap represente uma alternativa promissora para avaliação em campo, ainda são escassas as informações disponíveis sobre sua aplicação e comparação com métodos físicos de avaliação do processamento dos grãos. Assim, estudos que avaliem a concordância entre essas metodologias podem contribuir para o aprimoramento das técnicas de monitoramento do processamento dos grãos e fornecer informações que auxiliem produtores e técnicos na tomada de decisões durante a ensilagem.

Diante desse contexto, o presente estudo teve como objetivo comparar a avaliação do processamento do grão de milho no momento da ensilagem do milho planta inteira, após a separação hidrodinâmica dos grãos e seus fragmentos, por meio do peneiramento em peneira de 4,75 mm, após a secagem, e por análise de imagens utilizando o aplicativo SilageSnap.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Silagem de milho

A cultura do milho é amplamente utilizada para a produção de silagem devido ao seu potencial de elevada produção de matéria seca, alto valor energético e características favoráveis ao processo fermentativo, além da boa adaptação a diferentes condições de cultivo, tornando-se uma das principais fontes de volumoso na alimentação de ruminantes. A qualidade da

silagem produzida depende de diversos fatores, entre eles a escolha do híbrido, o estágio de maturação da planta no momento da colheita e a adequada condução do processo de ensilagem, aspectos que influenciam diretamente a composição bromatológica, o padrão fermentativo e o aproveitamento dos nutrientes pelos animais (Liu et al., 2021).

A silagem de milho da planta inteira é uma forragem conservada muito utilizada na alimentação de ruminantes, principalmente de animais confinados. A produção da silagem inicia-se com a colheita da planta no estágio adequado de maturação, seguida da picagem, compactação e armazenamento em ambiente anaeróbio, condições que favorecem o processo fermentativo que promove uma série de transformações microbiológicas e químicas responsáveis pela conservação da forragem. Durante os primeiros dias de armazenamento, ocorre rápida redução do pH em decorrência da intensa atividade de bactérias ácido-láticas, principalmente do gênero *Lactobacillus*. Essa acidificação favorece a estabilidade da massa ensilada, reduz o desenvolvimento de microrganismos indesejáveis e contribui para a preservação do valor nutritivo da silagem (Huang et al., 2021). Ao final do processo fermentativo, valores reduzidos de ácido butírico, concentrações de ácido acético inferiores a 6 g/kg de matéria seca e baixos teores de nitrogênio amoniacal são considerados indicativos de fermentação adequada e boa qualidade da silagem (Huang et al., 2021).

A escolha do híbrido exerce influência sobre a qualidade da silagem produzida, uma vez que diferentes materiais genéticos apresentam variações na participação de grãos, na composição da fração fibrosa e no potencial produtivo, refletindo diretamente no valor nutritivo da forragem. Essas diferenças também podem influenciar as características fermentativas e a composição nutricional da silagem, reforçando a importância da seleção de híbridos adequados para cada sistema de produção (Liu et al., 2021).

No presente estudo, foi utilizado o híbrido FS533, comercializado pela Forseed. De acordo com o fabricante, trata-se de um híbrido precoce, indicado tanto para produção de grãos quanto para silagem, apresentando elevada produção de matéria seca, boa participação de grãos e ampla adaptação às condições de cultivo. Além disso, possui grãos de textura semidura, característica que pode influenciar o processamento durante a ensilagem e, consequentemente, a disponibilidade do amido para os ruminantes (Forseed, 2025).

2.2 Processamento do grão de milho na ensilagem

O processamento do grão de milho durante a ensilagem é um dos principais fatores que determinam a qualidade nutricional da silagem, pois influencia diretamente a disponibilidade e

a digestibilidade do amido pelos ruminantes. Durante a colheita, a fragmentação dos grãos promove o rompimento do pericarpo e da matriz proteica que envolve os grânulos de amido, aumentando sua exposição à ação dos microrganismos ruminais e das enzimas digestivas. Dessa forma, um adequado processamento dos grãos favorece maior disponibilidade do amido e melhor aproveitamento energético da silagem pelos ruminantes (Salvati et al., 2021).

A intensidade desse processamento depende, principalmente, das regulagens da colhedora de forragem. Entre os fatores mais importantes destacam-se a regulagem do processador de grãos (cracker), especialmente a abertura entre seus rolos (roll gap), o tamanho teórico de corte (TLOC), o estágio de maturação da planta, que influencia a dureza e a resistência dos grãos à fragmentação, e as características físicas do híbrido utilizado. Alterações nesses parâmetros modificam a fragmentação dos grãos e, consequentemente, a disponibilidade do amido presente na silagem (Saylor et al., 2021a).

Segundo Saylor et al. (2021a), a redução da abertura entre os rolos processadores promove aumento do grau de processamento do grão, e silagens produzidas com *roll gap* de 1 mm apresentaram maior fragmentação dos grãos e maior disponibilidade do amido que aquelas produzidas com abertura de 3 mm, evidenciando que alterações na regulagem da colhedora podem resultar em diferenças expressivas na fragmentação dos grãos.

Além da regulagem da máquina, características intrínsecas do grão também influenciam a eficiência do processamento. Híbridos com endosperma mais vítreo apresentam matriz proteica mais compacta, rica em proteínas do tipo zeína, dificultando a fragmentação do grão durante a colheita. Nessas condições, o processamento físico favorece a ruptura do grão e amplia a exposição da matriz proteica, enquanto, durante a fermentação, a ação de ácidos e proteases promove a solubilização das zeínas, aumentando a exposição dos grânulos de amido e sua digestibilidade (Salvati et al., 2023).

O tempo de armazenamento da silagem também exerce influência sobre a disponibilidade do amido. Durante o processo fermentativo, ocorre degradação gradual da matriz proteica que envolve os grânulos de amido, favorecendo sua digestibilidade ao longo do armazenamento. Dessa forma, a combinação entre adequado processamento na colheita e tempo suficiente de fermentação contribui para maior aproveitamento energético da silagem pelos animais (Andrade et al., 2025; Salvati et al., 2023).

Em condições de campo, entretanto, o processamento do grão pode apresentar grande variabilidade devido às diferenças entre máquinas, regulagens operacionais, condições de colheita e características dos híbridos utilizados. Essa variabilidade pode resultar em maior presença de grãos inteiros ou pouco fragmentados na silagem, reduzindo a disponibilidade do

amido, comprometendo o aproveitamento energético pelos animais e aumentando as perdas de nutrientes. Dessa forma, reforça-se a importância da utilização de métodos confiáveis para avaliar o grau de processamento dos grãos, permitindo identificar possíveis falhas durante a colheita e realizar ajustes que contribuam para a produção de silagens de melhor qualidade nutricional (Salvati et al., 2021; Saylor et al., 2021a).

2.3 Técnicas para avaliar o processamento do grão de milho

A avaliação do processamento do grão de milho constitui uma etapa importante no monitoramento da qualidade da silagem, pois permite verificar o grau de fragmentação dos grãos e identificar a necessidade de ajustes na regulagem da colhedora. Para isso, podem ser empregados métodos físicos, baseados no peneiramento dos grãos, e métodos de análise de imagens, desenvolvidos para estimar o processamento de forma rápida durante a colheita (Luck et al., 2020).

A avaliação do grau de processamento do grão pode ser realizada em nível laboratorial por meio da determinação do *Kernel Processing Score* (KPS), um índice de processamento obtido a partir da porcentagem de amido presente na fração da silagem que atravessa a peneira de 4,75 mm, após procedimento padronizado de peneiramento e análise laboratorial (Ferreira e Mertens, 2005). A metodologia envolve a secagem e peneiramento de amostra de silagem, em um agitador vertical (Ro-Tap), com peneiras de 19; 13,3; 9,50; 6,70 e 4,75 mm, além do fundo. Somente grãos quebrados em $\frac{1}{4}$ conseguem passar pela peneira de 4,75 mm, e o material retido no fundo é analisado quanto ao teor de amido e o resultado expresso em porcentagem, que constitui o KPS (Ferreira e Mertens, 2005).

A análise do KPS é amplamente utilizada como indicador da eficiência do processamento dos grãos, e está associada ao aproveitamento e à digestibilidade do amido pelos ruminantes. Entretanto, por exigir procedimentos laboratoriais para sua determinação, é inviável a sua aplicação durante a colheita para a tomada de decisões (Shinners e Holmes, 2013).

Devido a essa limitação, métodos simplificados passaram a ser utilizados para avaliar o processamento dos grãos diretamente em campo. Entre eles, destaca-se a técnica de separação hidrodinâmica, desenvolvida por Savoie et al. (2004), que permite separar os grãos e seus fragmentos da fração fibrosa da silagem com base na diferença de densidade. Nesse método, a amostra de silagem é colocada em um recipiente com água, e os fragmentos vegetais ficam na superfície da água, enquanto os grãos sedimentam no fundo do recipiente, possibilitando sua

separação e posterior avaliação do grau de processamento. Com base na técnica de separação dos grãos em água, Shinnars e Holmes (2013), propuseram critérios para classificar o processamento dos grãos, considerando a proporção de grãos que atravessam a peneira de 4,75 mm após a separação em água, em: excelente quando superior a 70%, adequado entre 50 e 69% e inadequado quando inferior a 50%.

Segundo Ferratetto e Shaver (2012), o KPS é um preditor determinante no aproveitamento energético da silagem de milho, pois com processamento inadequado, ou seja, um KPS baixo, resulta no aumento da excreção fecal do amido, pois o pericarpo do grão intacto limita o acesso dos microrganismos ruminais e das enzimas digestivas ao amido. Enquanto, um processamento adequado, KPS maior, eleva a digestibilidade total do amido, resultando em melhoria na eficiência alimentar e na produção de leite.

Com o objetivo de desenvolver um método automatizado e acessível para prever o KPS da silagem de milho, Drewry et al. (2019), avaliaram o uso do processamento digital de imagens a partir de fotografias de grãos de milho isolados da fração vegetativa. Para isso, esses autores realizaram o método da separação hidrodinâmica e preparação das amostras para a fotografia, onde, uma alíquota representativa de aproximadamente 100 gramas de silagem de milho planta inteira foi colocada em um recipiente com água limpa. A mistura foi agitada manualmente para desagregar os fragmentos de grãos do restante da planta, e por densidade foi feita a separação da fração vegetativa flutuante na água dos grãos depositados no fundo do recipiente. A água do recipiente foi drenada e passou por uma peneira fina para retirar o excesso de água, e após colocados em um papel absorvente para secar rapidamente a superfície das partículas. Em seguida os fragmentos foram espalhados manualmente em uma superfície com fundo preto e fosco, formando uma camada única evitando que as partículas ficassem sobrepostas ou tocassem em outras adjacentes. Ao lado das partículas de milho foi posicionada uma moeda de valor conhecido, quarter (25 centavos americanos), como marcador de referência espacial de diâmetro e área padrão para conversão direta de pixel para milímetros. A captura da imagem foi feita com uma câmera digital fixa em superfície vertical, garantindo uma distância focal perpendicular de 90° em relação à mesa de iluminação controlada.

Ao compararem os resultados obtidos pelo algoritmo com o método do peneiramento laboratorial padrão (KPS), Drewry et al. (2019), observaram uma elevada correlação entre os métodos. Com isso concluíram que a análise digital de imagens pode ser uma alternativa rápida, precisa e de baixo custo para a estimativa do KPS. Baseado nesse trabalho, foi desenvolvido o aplicativo SilageSnap, pela Universidade de Wisconsin–Madison com o objetivo de estimar o grau de processamento dos grãos por meio do processamento digital de imagens, de forma

rápida e prática utilizando um smartfone para auxiliar produtores e técnicos na avaliação da qualidade da silagem diretamente no campo (Luck et al., 2020).

O funcionamento do aplicativo baseia-se na captura de imagens dos grãos previamente separados da fração fibrosa da silagem, por meio da separação hidrodinâmica como o descrito no trabalho de Drewry et al. (2019), e utilização de uma superfície de fundo escuro e fosco para distribuição uniforme dos grãos em camada única, sem sobreposição entre partículas, além da utilização de um objeto de dimensão conhecida, como uma moeda, para calibração da escala da imagem. Após a captura da fotografia, o algoritmo identifica os fragmentos dos grãos e estima seu grau de processamento por meio da análise digital das partículas, e estima o valor da KPS (Luck et al., 2020).

O desenvolvimento dessa tecnologia teve como principal objetivo disponibilizar uma ferramenta capaz de fornecer resultados em tempo reduzido, permitindo que eventuais ajustes na regulação da colhedora sejam realizados ainda durante a operação de ensilagem. Entretanto, os próprios autores destacam que o SilageSnap não foi desenvolvido para substituir os métodos laboratoriais de avaliação, mas sim para atuar como uma ferramenta complementar de apoio à tomada de decisão em campo (Luck et al., 2020).

Em razão da proposta de oferecer uma avaliação rápida do processamento do grão, baseada em imagem, o aplicativo SilageSnap, desperta o interesse como alternativa para o monitoramento da qualidade da silagem de milho planta inteira, em tempo real no campo, representando uma alternativa promissora, reduzindo o tempo necessário para avaliação e contribuindo para o monitoramento da qualidade da silagem. No entanto, a comparação dos resultados obtidos no processamento digital de imagens necessita ser comparada com métodos físicos tradicionais de avaliação, para verificar sua aplicabilidade na determinação do grau de processamento dos grãos, uma vez que diferenças metodológicas podem influenciar as estimativas obtidas (Drewry et al., 2019; Luck et al., 2020; Rocha et al., 2022).

Com a finalidade de simular de maneira simplificada a avaliação do processamento do grão da silagem de milho da planta inteira, na prática no campo, algumas empresas de consultoria técnica têm usado o método de separação hidrodinâmica para separar dos grãos e seus fragmentos do restante da planta, onde a amostra de silagem é colocada em um recipiente com água, e o material vegetal flutuante é descartado e os grãos e seus fragmentos depositados no fundo são separados. Em seguida o material depositado no fundo é seco, utilizando equipamentos de fácil acesso como air fryer ou micro-ondas. A massa seca é pesada e em seguida passada em uma peneira com abertura da malha de 4,75 mm. O material retido na

peneira é pesado para verificar o quanto de material passou pela peneira, sendo desejável passagem de material em que quantidade superior a 70% (Dimas, 2025).

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Fazenda do Glória, pertencente à Universidade Federal de Uberlândia (UFU), no setor de Bovinocultura de Leite (SEBOL), no dia 30/03/2026, durante a colheita da cultura do milho destinada à produção de silagem de milho planta inteira. No momento da colheita, a cultura apresentava teor de matéria seca de 42,35%. O híbrido do milho plantado foi o FS533 da empresa Forseed, cultivado em uma área aproximada de 19 hectares e colhido por colhedora automotriz CLAAS equipada com processador de grãos (cracker), responsável pela fragmentação dos grãos durante a colheita. De acordo com o fabricante, trata-se de um híbrido precoce, indicado tanto para produção de grãos quanto para silagem, apresentando elevada produção de matéria seca, boa participação de grãos e ampla adaptação às condições de cultivo.

A coleta das amostras foi realizada diretamente durante a operação de ensilagem, após o descarregamento de caminhões na trincheira. Para este estudo, foram selecionados 16 caminhões, dos quais foram coletadas amostras em sete pontos distintos da massa de forragem recém-descarregada, visando à obtenção de uma amostra composta representativa de cada caminhão. Após a homogeneização do material, foi obtida uma amostra composta por caminhão, totalizando 16 amostras compostas. Cada amostra foi submetida a separação hidrodinâmica e os grãos e seus fragmentos separados foram submetidos a dois métodos de avaliação: peneiramento em peneira de 4,75 mm e análise digital por imagens utilizando o aplicativo SilageSnap.

3.1 Método de separação hidrodinâmica e uso da peneira de 4,75 mm

Para a avaliação do processamento do grão por peneiramento, foram utilizadas subamostras de 100 g de silagem de cada amostra composta. Essa quantidade foi adotada por proporcionar maior representatividade da amostra durante o processo de peneiramento e permitir adequada separação dos grãos da fração fibrosa. A amostra foi colocada em um recipiente com água e a fração fibrosa flutuante foi descartada e os grãos e seus fragmentos presentes no fundo do recipiente foram separados. Em seguida, o material separado foi

submetido à secagem em Air Fryer a 180 °C por 10 minutos, procedimento adotado para promover a secagem dos grãos e seus fragmentos antes do peneiramento.

Após a secagem, cada amostra foi submetida ao peneiramento utilizando uma peneira granulométrica metálica com abertura de malha de 4,75 mm, separando-se as partículas retidas daquelas que passaram pela peneira. As duas frações foram pesadas individualmente em balança digital, sendo posteriormente calculada a porcentagem de partículas retidas e passantes em relação à massa total da amostra. Os resultados obtidos foram utilizados para representar o grau de processamento físico dos grãos. A sequência de fotos que descreve os passos realizados neste método está apresentada na Figura 1.

Figura 1 – Sequência de fotos do procedimento da separação hidrodinâmica dos grãos e seus fragmentos, seguido pela secagem, peneiramento e pesagem do material passante na peneira de 4,75 mm.



Foto A - Pesagem da amostra de 100 g de silagem de milho para avaliação por peneiramento; Foto B – Separação hidrodinâmica dos grãos da fração fibrosa; Foto: C – Separação dos grãos e seus fragmentos; Foto D – Grãos e seus fragmentos após a secagem Foto E – Peneiramento em peneira de 4,75 mm do material seco; Foto F – Pesagem do material passante pela peneira de 4,75 mm.

Fonte: Autoria própria (2026).

3.2 Método de separação hidrodinâmica e uso do aplicativo SilageSnap

A avaliação do processamento dos grãos utilizando o aplicativo SilageSnap, foi realizada utilizando subamostras de 20 g de silagem provenientes de cada amostra composta. Inicialmente, as subamostras foram colocadas em um recipiente contendo água para promover

a separação hidrodinâmica da fração fibrosa dos grãos e seus fragmentos. A fração fibrosa flutuante, que permaneceu na superfície, foi descartada, enquanto os grãos e seus fragmentos depositados no fundo do recipiente foram separados. Em seguida, esse material separado foi colocado sobre papel absorvente para remoção do excesso de água superficial, e posteriormente, distribuído sobre uma superfície preta e fosca, evitando a sobreposição e o contato entre as partículas, a fim de minimizar interferências na identificação pelo aplicativo. Na sequência, foi posicionada uma moeda de 10 centavos de dólar americano (Dime), com diâmetro conhecido de 17,9 mm, utilizada como objeto de referência para a calibração da escala da imagem pelo aplicativo. A imagem de cada subamostra foi obtida utilizando um smartphone, sob iluminação uniforme e controlada, evitando reflexos que pudessem interferir na identificação das partículas. Durante a captura da imagem, a câmera foi mantida nivelada em relação a superfície e posicionada à mesma distância em todas as fotografias. Ao todo, foram obtidas 16 imagens, que posteriormente, foram analisadas individualmente pelo aplicativo SilageSnap, o qual estimou o grau de processamento dos grãos por meio do processamento digital de imagens (Luck et al., 2020).

Figura 2 – Sequência de fotos do procedimento da separação hidrodinâmica dos grãos e seus fragmentos, seguido pela análise pelo aplicativo SilageSnap.

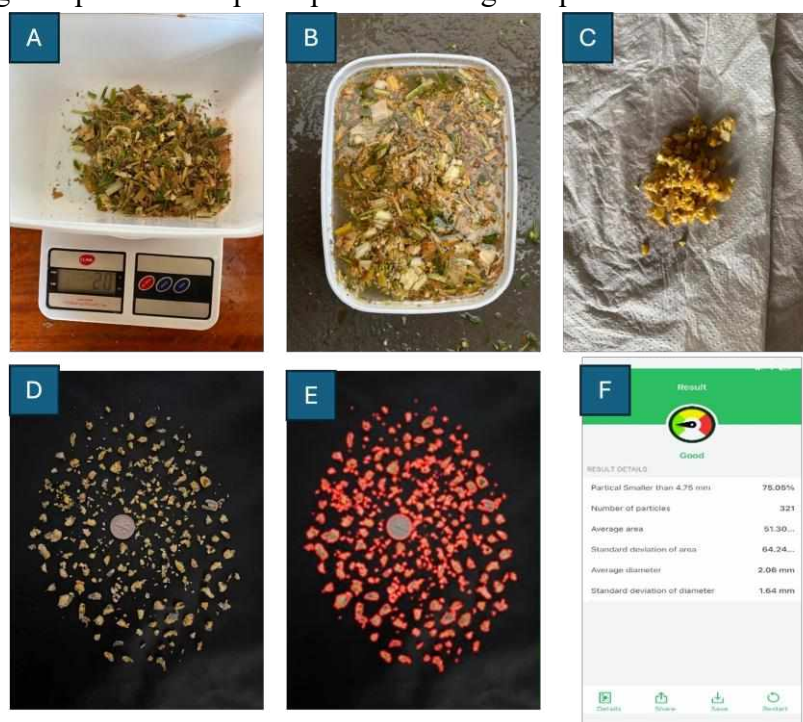


Foto A - Pesagem da amostra de 20 g de silagem de milho; Foto B – Separação hidrodinâmica dos grãos da fração fibrosa; Foto: C – Remoção do excesso de água superficial em papel absorvente dos grãos e seus fragmentos; Foto D – Grãos e seus fragmentos espalhados em uma superfície preta e fosca, com a moeda (dime) como referência de escala; Foto E – Imagem gerada pelo aplicativo SilageSnap; Foto F – Resultado do aplicativo SilageSnap.

Fonte: Autoria própria (2026).

3.3 Análise estatística

O delineamento experimental utilizado foi o delineamento inteiramente casualizado (DIC), com 16 repetições para cada método. As médias referentes à porcentagem de partículas abaixo de 4,75 mm obtidas pelo método de peneiramento e pelo aplicativo SilageSnap foram comparadas pelo teste F, adotando-se nível de significância de 5%. As análises estatísticas foram realizadas utilizando o programa estatístico R versão 4.5.3 (2026).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios do percentual das partículas abaixo de 4,75 mm, após a separação hidrodinâmica dos grãos e seus fragmentos, avaliado pelo peneiramento em peneira de 4,75 mm e pelo aplicativo SilageSnap, estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Valores médios da porcentagem de partículas abaixo de 4,75 mm obtidos pelo método de peneiramento e pelo aplicativo SilageSnap.

Método	Percentual de partículas abaixo de 4,75 mm
Peneiramento (Peneira 4,75 mm)	53,97 b
Aplicativo SilageSnap	61,36 a
CV (%)	15,69
EPM	2,26

Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem entre si pelo teste F, ao nível de 5% de significância.
Fonte: Autoria própria (2026)

Observou-se que o percentual de partículas abaixo de 4,75 mm, diferiu significativamente ($p < 0,05$) entre os métodos avaliados, sendo que o aplicativo SilageSnap apresentou valor de 7,39 pontos percentuais superior ao peneiramento físico. Apesar dessa diferença, do ponto de vista qualitativo ambos os métodos avaliados classificaram o processamento dos grãos na faixa considerada adequada de 50 a 69%, segundo a classificação feita por Shinnars e Holmes (2013), mas não na faixa considerada ótima que seria de 70% ou mais. Esse resultado pode ser explicado pelo fato da planta de milho ser colhida com valor de matéria seca elevada de 42,35%, o que indica um estágio avançado de maturidade, que pode dificultar a fragmentação dos grãos, e contribuir para o menor percentual de partículas abaixo de 4,75 mm.

As diferenças observadas devem ser interpretadas de acordo com os critérios específicos de cada método. Uma possível explicação para esses resultados pode ser feita pela quantidade de amostras que foram analisadas em cada método. A silagem de milho possui heterogeneidade

quanto ao tamanho de partícula e, do ponto de vista amostral, alíquotas reduzidas, apresentam maior susceptibilidade ao erro de amostragem, onde pequenas variações no número de partículas maiores alteram expressivamente a distribuição percentual. Embora a redução da quantidade de amostra no aplicativo (20 gramas) seja indispensável devido à dificuldade operacional de dispor os grãos manualmente sobre a superfície de análise, garantindo que as partículas não fiquem sobrepostas ou em contato direto umas com as outras, essa limitação pode ter comprometido a representatividade da alíquota quando comparada à amostra utilizada para o peneiramento físico (100 gramas).

Outra possível explicação está relacionada às diferenças nos princípios físicos dos métodos avaliados. No método do peneiramento as amostras foram secas antes de serem peneiradas, e segundo Dias Junior, et al., (2016), a separação hidrodinâmica da fração dos grãos, seguida de secagem e peneiramento pode proporcionar uma melhor avaliação da quebra dos grãos da silagem de planta inteira. Por outro lado, na análise pelo SilageSnap, as amostras foram analisadas na forma úmida, utilizando características visuais das partículas para estimar o processamento dos grãos. Segundo Drewry et al. (2019) e Luck et al. (2020), as condições de captura da imagem, como iluminação, e características da superfície da amostra, como formato e orientação dos fragmentos pode afetar a estimativa do tamanho da partícula pelo algoritmo, o que pode resultar em variações em relação ao método físico do peneiramento. Dessa forma, o desempenho do aplicativo pode ser influenciado pelas condições de preparo das amostras e de obtenção das imagens, ressaltando a importância da padronização desses procedimentos.

Comparando a praticidade dos dois métodos avaliados verificou-se no presente estudo que o método baseado em análise de imagens exigiu maior padronização no preparo das amostras, incluindo cuidados com a remoção do excesso de umidade, a distribuição individual dos grãos sobre superfície preta fosca, e nas condições de iluminação. Em contrapartida, o método de peneiramento apresentou execução mais simples e de fácil aplicação, porém exige a secagem das amostras antes do peneiramento. Dessa forma, as metodologias avaliadas apresentam princípios distintos de funcionamento, e a escolha entre elas deve considerar o objetivo da avaliação e as condições de utilização em campo.

5 CONCLUSÃO

O aplicativo SilageSnap apresentou potencial como ferramenta para avaliação do processamento do grão de milho, estimando percentuais de partículas abaixo de 4,75 mm superiores aos obtidos pelo método de peneiramento. Nas condições em que este estudo foi conduzido, o método de peneiramento mostrou-se mais prático para a execução a campo.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, M. E. B.; WILMS, J. N.; OLSEN, A. E.; GOULART, R. S.; TABOADA, N.; BRAGATTO, J. M.; FERRARETTO, L. F.; DANIEL, J. L. P. Kernel processing and storage length: effect on the fermentation, nutritional, and physical characteristics of flint corn silage with low DM. **Animal Feed Science and Technology**, v. 331, art. 116599, 2025. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2025.116599. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2025.116599>
- DIAS JUNIOR, G. S.; FERRARETTO, L. F.; SALVATI, G. G. S.; RESENDE, L. C. de; HOFFMAN, P. C.; PEREIRA, M. N.; SHAVER, R. D. Relationship between processing score and kernel-fraction particle size in whole-plant corn silage. **Journal of Dairy Science**, v. 99, n. 4, p. 2719-2729, 2016. DOI: 10.3168/jds.2015-10411. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10411>
- DIMAS, C. **Silagem de milho: a importância do processamento de plantas e grãos na silagem**. 2025.
- DREWRY, J. L.; LUCK, B. D.; WILLETT, R. M.; ROCHA, E. M. C.; HARMON, J. D. Predicting kernel processing score of harvested and processed corn silage via image processing techniques. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 160, p. 144–152, 2019. DOI: 10.1016/j.compag.2019.03.020. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.03.020>
- FERRARETTO, L. F.; SHAVER, R. D. Meta-analysis: Impact of corn silage harvest practices on intake, digestion, and milk production by dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 95, n. 11, p. 6833–6843, 2012.
- FERRARETTO, L. F.; SHAVER, R. D.; LUCK, B. D. Silage review: Recent advances and future technologies for whole-plant and fractionated corn silage harvesting. **Journal of Dairy Science**, v. 101, n. 5, p. 3937-3951, 2018. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13728>
- FERRARETTO, L. F.; SHAVER, R. D. Effects of corn shredlage on lactation performance and total tract starch digestibility by dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 98, n. 12, p. 8871–8883, 2015. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8232>
- FERREIRA, G.; MERTENS, D. R. Chemical and physical characteristics of corn silage finished with different processing methods. **Journal of Dairy Science**, v. 88, n. 12, p. 4413–4422, 2005. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(05\)73128-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)73128-3)
- FORSEED. **Catálogo de híbridos de milho 2025**. [S. l.]: Forseed Sementes, 2025.
- HUANG, Y.; LIANG, L.; DAI, S.; WU, C.; CHEN, C.; HAO, J. Effect of different regions and ensiling periods on fermentation quality and the bacterial community of whole-plant maize silage. **Frontiers in Microbiology**, v. 12, 2021. DOI: 10.3389/fmicb.2021.743695. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.743695>
- LIU, Y.; WANG, G.; WU, H.; MENG, Q.; KHAN, M. Z.; ZHOU, Z. Effect of hybrid type on fermentation and nutritional parameters of whole plant corn silage. **Animals**, v. 11, n. 6, art. 1587, 2021. DOI: 10.3390/ani11061587. <https://doi.org/10.3390/ani11061587>

LUCK, B. D. **Kernel Processing Score: determination with SilageSnap**. University of Wisconsin–Madison Extension, 2020.

NEUMANN, M.; BALDISSERA, E.; IENKE, L. A.; SOUZA, A. M.; OLIVEIRA, P. E. P.; BUMBIERIS JUNIOR, V. H. Nutritional value evaluation of corn silage from different mesoregions of southern Brazil. **Agriculture**, v. 14, n. 7, art. 1055, 2024. DOI: 10.3390/agriculture14071055. <https://doi.org/10.3390/agriculture14071055>

ROCHA, E. M. C.; DREWRY, J. L.; WILLETT, R. M.; LUCK, B. D. Assessing kernel processing score of harvested corn silage in real-time using image analysis and machine learning. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 203, art. 107415, 2022. DOI: 10.1016/j.compag.2022.107415. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107415>

SALVATI, G. G. S.; SANTOS, W. P.; SILVEIRA, J. M.; et al. Effect of kernel processing and particle size of whole-plant corn silage with vitreous endosperm on dairy cow performance. **Journal of Dairy Science**, v. 104, n. 2, p. 1794–1810, 2021. DOI: 10.3168/jds.2020-19428. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19428>

SALVATI, G. G. S.; SANTOS, W. P.; CARVALHO-ESTRADA, P. A.; et al. Strategies to maximize kernel processing in a Brazilian vitreous endosperm hybrid. **Agronomy**, v. 13, n. 3, art. 616, 2023. DOI: 10.3390/agronomy13030616. <https://doi.org/10.3390/agronomy13030616>

SAVOIE, P.; SHINNERS, K. J.; BINVERSIE, B. N. Hydrodynamic separation of grain and stover components in corn silage. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v. 113, p. 41–54, 2004. https://doi.org/10.1007/978-1-59259-837-3_5

SAYLOR, B. A.; MCCARY, C. L.; DIEPERSLOOT, E. C.; et al. Effect of forage processor roll gap width and storage length on fermentation profile and kernel processing score. **Agriculture**, v. 11, n. 7, art. 574, 2021a. DOI: 10.3390/agriculture11070574. <https://doi.org/10.3390/agriculture11070574>

SHINNERS, K.J., HOLMES, B.J., 2013. Making sure your kernel processor is doing its job. Retrieved from. **Focus Forage**. v.15, n.4, p.1–3. 2013. Disponível em: <http://fyi.uwex.edu/forage/les/2014/01/KernelProcessing-FOF.pdf>.