

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

VINICIUS POLONI MARÇAL

**EFEITOS DE NIVEIS DE CLORETO DE SÓDIO NO PH, PROTEÍNA BRUTA E FDN
DE SILAGENS DE GRÃOS DE MILHO RECONSTITUÍDOS**

Ilha Solteira
2025

VINICIUS POLONI MARÇAL

**EFEITOS DE NIVEIS DE CLORETO DE SÓDIO NO PH, PROTEÍNA
BRUTA E FDN DE SILAGENS DE GRÃOS DE MILHO
RECONSTITUÍDOS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentada à Faculdade de Engenharia de
Ilha Solteira – UNESP como parte dos
requisitos para obtenção do título de
Engenheiro Agrônomo

Prof. Dr. Leandro Coelho de Araujo
Orientador

Ilha Solteira
2025

FICHA CATALOGRÁFICA
Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

Marçal, Vinicius Poloni.
M313e Efeitos de níveis de cloreto de sódio no pH, proteína bruta e FDH de silagens de grãos de milho reconstituídos / Vinicius Poloni Marçal. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2025
32 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Agrônômica) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira, 2025

Orientador: Leandro Coelho de Araújo

Inclui bibliografia

1. Estabilidade anaeróbica. 2. Microorganismos. 3. Qualidade nutricional. 4. Aditivos alimentares. 5. Preservação da silagem.

Sandra Montibeller - CRB-8/060

**Autorização de arquivamento da versão final do Trabalho de Conclusão de
Curso (TCC)**

Eu, Prof. Dr. **LEANDRO COLEHO DE ARAUJO**, venho por meio desta **AUTORIZAR** o arquivamento no Repositório Institucional Unesp da versão final do trabalho de conclusão de curso intitulado **"EFEITOS DE NÍVEIS DE CLORETO DE SÓDIO NO PH, PROTEÍNA BRUTA E FDN DE SILAGENS DE GRÃOS DE MILHO RECONSTITUÍDOS"**, do aluno **VINICIUS POLONI MARCAL**, regularmente matriculado no Curso de Graduação em Engenharia Agrônômica, da Faculdade de Engenharia do Câmpus de Ilha Solteira da Unesp.

Informo que o arquivo em PDF do TCC está tecnicamente adequado em sua forma e estrutura e contém os devidos agradecimentos aos órgãos de fomento à pesquisa (no caso de recebimento de bolsa e/ou financiamento).

(☒) **AUTORIZO** ainda, a disponibilização online em acesso aberto do TCC no Repositório Institucional Unesp.

(☐) **NÃO AUTORIZO** a disponibilização online em acesso aberto do TCC no Repositório Institucional Unesp.

Justificativa:

Ilha Solteira, 02 de julho de 2025.

Documento assinado digitalmente
 **LEANDRO COELHO DE ARAUJO**
Data: 02/07/2025 16:14:32 -0300
Verifique em <https://validar.jti.gov.br>

Prof. Dr. LEANDRO COLEHO DE ARAUJO
ORIENTADOR

VINICIUS POLONI MARÇAL

**EFEITOS DE NIVEIS DE CLORETO DE SÓDIO NO PH, PROTEÍNA
BRUTA E FDN DE SILAGENS DE GRÃOS DE MILHO
RECONSTITUÍDOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada à Faculdade de
Engenharia de Ilha Solteira – UNESP como parte dos requisitos
para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo

APROVADO EM: 02/07/2025

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Leandro Coelho de Araújo
Orientador

Prof. Dr. André Gustavo Leão
Avaliador

Msc. Matheus Sousa de Paula Carlis
Avaliador

Ilha Solteira
2025

RESUMO

A ensilagem de grãos de milho reconstituídos é uma prática eficiente para conservação de alimentos em períodos de escassez. Este estudo teve como objetivo avaliar os efeitos da adição de diferentes doses de (0,0, 0,5, 1,0, 1,5, 2,0 e 2,5% da matéria seca?) cloreto de sódio (NaCl) sobre o perfil fermentativo e qualidade da silagem de milho reconstituído. Foram analisados os teores de proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN), pH. Os resultados indicaram que a adição de NaCl não influenciou significativamente os teores de PB e FDN ($P =$), mantendo-se . No entanto, observou-se aumento linear ($P =$) dos valores de pH com o incremento das doses, ultrapassando o limiar de 4,6 a partir de 1%. *Clostridium spp.* Assim, embora o NaCl não tenha prejudicado os parâmetros nutricionais, sua adição em concentrações elevadas comprometeu a qualidade fermentativa. Conclui-se que a utilização de cloreto de sódio como aditivo deve ser realizada com cautela, e que doses superiores a 1% não são recomendadas sem estudos adicionais que avaliem sua influência sobre a estabilidade da silagem a longo prazo.

Palavras-chave: Estabilidade anaeróbica; microrganismos; qualidade nutricional; aditivos alimentares; preservação da silagem.

ABSTRACT

The ensiling of reconstituted corn grains is an efficient practice for preserving feed during periods of scarcity. This study aimed to evaluate the effects of adding different NaCl doses (0.0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, and 2.5%) on the fermentation and quality of reconstituted corn silage. Crude protein (CP), neutral detergent fiber (NDF), pH, and other bromatological parameters were analyzed. The results indicated that NaCl addition did not significantly affect CP and NDF levels, which remained close to expected standards. However, a linear increase in pH was observed with increasing salt concentrations, exceeding the 4.6 threshold from 1% onwards, which may compromise the stability of the anaerobic environment. This behavior suggests a risk of proliferation of undesirable microorganisms, such as *Clostridium spp.p.*, negatively affecting silage preservation. Therefore, although NaCl did not impair nutritional parameters, its use at higher concentrations compromised fermentative quality. It is concluded that sodium chloride should be used with caution, and levels above 1% are not recommended without further studies evaluating its long-term effects on silage stability. *Clostridium spp.*

Keywords: Forage preservation; anaerobic stability; undesirable microorganisms; nutritional quality; feed additives.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	7
2 REVISÃO DE LITERATURA	10
2.1 Silagem dos grãos de milho	10
2.2 O cloreto de sódio	14
2.3 FERMENTAÇÃO E PERDAS DE MASSA SECA	16
3 METODOLOGIA.....	18
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	21
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	Erro! Indicador não definido.
REFERÊNCIAS	28

1 INTRODUÇÃO

A produção de forragem durante o outono e o inverno, especialmente nas regiões Sudeste e Centro-Oeste do Brasil, sofre uma redução drástica devido às condições climáticas desfavoráveis, como a diminuição da pluviosidade, das temperaturas do ar e do fotoperíodo. Essa escassez sazonal de forragem exige a suplementação alimentar dos animais (VILELA et al., 2014).

Nos sistemas de confinamento animal, a silagem de planta inteira de milho é amplamente utilizada como principal fonte volumosa na dieta (ZOPOLLATTO et al., 2009; JOBIM et al., 2007). Além disso, ela também serve como alternativa estratégica para complementar a alimentação durante os períodos de baixa disponibilidade de pastagens (EUCLIDES et al., 2010; VILELA et al., 2014). A silagem de planta inteira de milho é considerada um padrão de qualidade no processo de ensilagem, pois atende aos principais requisitos para a obtenção de uma boa fermentação como: teor de matéria seca (MS) entre 30% e 35%, adequado conteúdo de carboidratos solúveis entre 6% e 10% da MS e baixo poder tampão inferior a 10 meq/100 g de MS (McDONALD et al., 1991; MUCK, 2010).

Embora a silagem de planta inteira seja uma das opções mais tradicionais para a conservação de alimentos volumosos, a técnica de reconstituição de grãos, que consiste na adição de água seguida de ensilagem, tem sido empregada há décadas como uma solução prática para preservar grãos, o que pode proporcionar maior digestibilidade do amido, conforme observado por FERREIRA NEVES (2020), que relatou aumento de 22% na degradabilidade ruminal do amido após a reconstituição e ensilagem de grãos de milho. No Brasil, esse método vem ganhando relevância, mas ainda enfrenta desafios relacionados à determinação correta da quantidade de água necessária para o processo (BERNARDES, 2019). Apesar de não ser classificada como um ingrediente volumoso, a silagem de grãos reconstituídos apresenta-se como uma alternativa viável para a conservação de milho grão seco, em comparação com métodos convencionais, como o armazenamento em sacos ou silos verticais.

A silagem de grãos úmidos apresenta desafios quanto à estabilidade aeróbia, perdas de matéria seca, e produção de compostos indesejáveis como aminas e ácidos graxos voláteis. Para minimizar essas perdas, a utilização de aditivos tem sido estudada.

Ítavo et al. (2003) observaram que a inoculação de silagens de grãos úmidos de milho não alterou significativamente o padrão de fermentação, mas reduziu o teor de nitrogênio amoniacal e as perdas de MS. Isso sugere que a decisão sobre o uso de inoculantes deve ser baseada em uma análise econômica criteriosa.

Nesse sentido, diversos aditivos têm sido estudados e aplicados em silagens de diferentes espécies, com o objetivo de melhorar o processo fermentativo. Esses aditivos podem influenciar a composição final do alimento, impactando o consumo de MS e a digestibilidade dos nutrientes (McDONALD et al., 1991; JOBIM et al., 2007). De modo geral, eles são substâncias desenvolvidas para otimizar a fermentação da massa ensilada sem comprometer seu valor nutritivo (NEUMANN et al., 2010).

O cloreto de sódio, conhecido popularmente como sal, surge como uma alternativa promissora para melhorar a qualidade das silagens. Ele age reduzindo a atividade de água nos alimentos e, dependendo da concentração utilizada, pode exercer um efeito antisséptico sobre a maioria dos microrganismos indesejáveis. Uma das vantagens do uso do sal é seu custo relativamente baixo (SILVA, 2010). Além disso, as bactérias ácido-láticas, essenciais para uma boa fermentação, demonstram tolerância ao ambiente salino, enquanto organismos prejudiciais, como o *Clostridium*, são inibidos (SHOCKEY e BORGW, 1991).

A resistência das bactérias lácticas a altas concentrações de sal é bem documentada, sendo estas amplamente utilizadas na indústria de laticínios, onde os níveis de cloreto de sódio podem variar entre 6% e 9% (Nicosia et al., 2023; Chowdhury et al., 2012; Uguen et al., 2018). Estudos realizados com silagem de alfafa (*Medicago sativa*) mostraram que concentrações de 0,58% de cloreto de sódio foram suficientes para inibir o crescimento inicial de *C. butyricum* que é uma bactéria anaeróbica formadora de esporos, capaz de fermentar carboidratos e produzir ácido butírico. Na silagem de milho, sua presença é indesejável, pois causa perdas nutricionais, reduz a palatabilidade e pode comprometer a saúde animal. Esse microrganismo se prolifera em silagens muito úmidas e mal compactadas. A prevenção envolve colher o milho com teor adequado de MS, boa compactação e vedação do silo, além do uso de inoculantes para favorecer a fermentação láctica e inibir a proliferação de *Clostridium spp.*. Em concentrações entre 0,58% e 1,16% do cloreto de sódio, o crescimento desse microrganismo foi completamente interrompido nas primeiras 48 horas, enquanto as bactérias ácido-láticas continuaram proliferando normalmente na silagem (SHOCKEY e BORGW, 1991).

Um estudo conduzido por Rabelo et al. (2013) avaliou o efeito da adição de cloreto de sódio em silagens de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*), constatando alterações positivas no pH e redução na atividade de água, o que contribuiu para uma fermentação mais eficiente, caracterizada por rápida redução do pH, inibição de microrganismos indesejáveis e predominância de bactérias ácido-láticas, resultando em maior estabilidade após a abertura do silo (MUCK et al., 2018; McDONALD et al., 1991).” . Contudo, ainda não existem pesquisas conclusivas sobre o uso de cloreto de sódio na ensilagem de grãos de milho reconstituídos. Essa lacuna de conhecimento impede a recomendação técnica dessa prática, tornando necessário o desenvolvimento de experimentos que validem a dose ideal para sua aplicação.

Diante das limitações e lacunas de conhecimento relacionadas ao uso de cloreto de sódio como aditivo na ensilagem de grãos de milho reconstituídos, este estudo teve como objetivo avaliar o impacto da aplicação de diferentes níveis de cloreto de sódio sobre o perfil fermentativo e as perdas de MS por gases durante o processo de ensilagem. Especificamente, buscou-se identificar a dose ideal de cloreto de sódio que maximizasse a qualidade fermentativa, minimizar as perdas nutricionais e garantisse maior estabilidade da silagem após a abertura do silo.

A escolha do cloreto de sódio como aditivo foi fundamentada em sua capacidade comprovada de reduzir a atividade de água e inibir microrganismos indesejáveis, como os *Clostridium spp.*, sem comprometer a proliferação das bactérias ácido-láticas, essenciais para uma fermentação adequada. Além disso, considerou-se o baixo custo desse aditivo, tornando-o uma alternativa economicamente viável para produtores rurais.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 SILAGEM DOS GRÃOS DE MILHO

A silagem de grãos de milho é uma técnica amplamente utilizada na conservação de alimentos para animais, especialmente em sistemas intensivos de produção. Trata-se de um processo que envolve a fermentação anaeróbica dos grãos úmidos ou reconstituídos, permitindo sua preservação por longos períodos sem comprometer o valor nutritivo. Esse método é particularmente relevante em regiões com sazonalidade marcante na disponibilidade de forragem, como ocorre no Brasil durante os períodos de outono e inverno (VIEIRA et al., 2021). A silagem de grãos de milho se destaca por sua capacidade de fornecer uma fonte concentrada de energia e nutrientes, sendo amplamente utilizada na alimentação de ruminantes e monogástricos.

A silagem de grãos de milho baseia-se na redução da atividade de água e na exclusão de oxigênio, o que cria um ambiente anaeróbico hostil à sobrevivência de microrganismos indesejáveis, como fungos e bactérias deterioradoras (McDonald et al., 1991). Para isso, os grãos são submetidos a condições controladas de umidade, geralmente entre 28% e 35% de MS, e compactados em silos hermeticamente vedados (JOBIM et al., 2007). Essa compactação elimina o oxigênio residual, favorecendo a proliferação de bactérias ácido-láticas, responsáveis pela produção de ácido láctico, que reduz o pH e estabiliza o material ensilado (BERNARDO, 2019). A eficiência desse processo depende de fatores como a qualidade do grão, o teor de carboidratos solúveis e a ausência de contaminações externas (MUCK et al., 2018).

A importância da silagem de grãos de milho está diretamente relacionada à sua composição nutricional. Os grãos de milho são ricos em amido, um carboidrato altamente digestível que contribui significativamente para a energia metabolizável das dietas animais. Além disso, o processo de ensilagem preserva outros nutrientes essenciais, como proteínas e lipídios, minimizando perdas durante o armazenamento. Segundo Batista e Cardoso (2022), a silagem também pode ser enriquecida com aditivos específicos, como enzimas, inoculantes microbianos ou sais, que melhoram ainda mais a qualidade fermentativa e a estabilidade aeróbia do produto final (FERREIRA et al., 2020).

Os métodos analíticos utilizados para avaliar a qualidade da silagem de grãos de milho seguem protocolos padronizados, como os descritos pela AOAC (1990).

Entre as análises mais comuns estão a determinação do teor de MS, PB, extrato etéreo (EE), fibras em detergente neutro (FDN) e ácido (FDA), além da concentração de ácido láctico e nitrogênio amoniacal. Essas avaliações permitem verificar o sucesso do processo fermentativo e identificar possíveis alterações que comprometam o valor nutritivo do material ensilado. Por exemplo, elevados níveis de nitrogênio amoniacal podem indicar a presença de atividade proteolítica indesejada, enquanto baixos teores de ácido láctico sugerem falhas na fermentação (McDONALD et al., 1991; KUNG et al., 2018).

A escolha do momento ideal para colheita e ensilagem dos grãos de milho é crucial para garantir a qualidade do produto final. De acordo com Johnson et al. (1966), a maturidade do grão influencia diretamente a digestibilidade da celulose e o conteúdo de carboidratos solúveis. Grãos colhidos em estágios intermediários de maturação tendem a apresentar maior teor de carboidratos solúveis, facilitando a fermentação e resultando em silagens de melhor qualidade (BALIEIRO NETO et al., 2010). No entanto, é necessário equilibrar esse aspecto com a necessidade de atingir níveis adequados de matéria seca para evitar perdas excessivas por efluente.

Os aditivos desempenham um papel fundamental na otimização do processo de silagem de grãos de milho. Eles podem ser classificados em químicos, microbiológicos ou enzimáticos, cada um com funções específicas (MUCK et al., 2018). Aditivos químicos, como o cloreto de sódio, reduzem a atividade de água e inibem microrganismos indesejáveis, enquanto inoculantes microbianos promovem uma fermentação mais rápida e eficiente (NEUMANN et al., 2010). Em um estudo conduzido por Ítavo et al. (2003), a utilização de aditivos microbianos em silagens de grãos úmidos de milho reduziu significativamente as perdas de matéria seca e o teor de nitrogênio amoniacal, embora não tenha alterado o padrão fermentativo global.

A silagem de grãos de milho também apresenta vantagens econômicas em comparação com outras formas de conservação, como o armazenamento de grãos secos em silos verticais ou sacos plásticos. Além de ser uma alternativa mais acessível, permite a utilização de grãos com teores de umidade superiores ao recomendado para armazenamento convencional, reduzindo custos com secagem. Medeiros et al. (2022) destacam que a inclusão de silagem de grãos de milho em dietas para caprinos confinados resultou em ganhos de peso satisfatórios, com aumento médio de 14,2% no ganho diário de peso vivo em comparação ao grupo controle, evidenciando seu potencial como ingrediente estratégico em formulações

nutricionais (MEDEIROS et al., 2022)., evidenciando seu potencial como ingrediente estratégico em formulações nutricionais.

No entanto, o sucesso da silagem de grãos de milho depende de práticas adequadas durante todas as etapas do processo, desde a colheita até a abertura dos silos. Corioletti et al. (2023) enfatizam a importância de técnicas corretas de compactação e vedação para evitar a entrada de ar, que pode levar à deterioração aeróbia e perdas nutricionais. Além disso, o monitoramento periódico das condições de armazenamento é essencial para garantir a estabilidade do produto após a abertura dos silos.

A análise bioquímica sanguínea de animais alimentados com silagem de grãos de milho demonstra benefícios significativos em termos de desempenho produtivo. Vieira et al. (2021) avaliaram o perfil bioquímico sanguíneo de coelhos alimentados com silagem de milho ou girassol e observaram melhores resultados nos animais que consumiram silagem de milho, atribuídos ao maior teor de energia disponível neste alimento. Esses achados reforçam a importância da silagem de grãos de milho como componente estratégico em dietas formuladas para diferentes espécies animais.

Outro aspecto relevante da silagem de grãos de milho é sua versatilidade. Ela pode ser utilizada tanto em sistemas de confinamento quanto em suplementação durante períodos de escassez de forragem em sistemas de pastejo. Sua alta densidade energética e fácil manipulação, tornam-na uma opção prática para produtores que buscam maximizar a eficiência produtiva. Além disso, a possibilidade de combinar a silagem de grãos de milho com outros ingredientes, como farelos ou aditivos específicos, permite ajustar a dieta às necessidades nutricionais de diferentes categorias animais.

Apesar de suas vantagens, o processo de silagem de grãos de milho também apresenta desafios. Um dos principais é a determinação da quantidade ideal de água a ser adicionada durante a reconstituição dos grãos, especialmente quando se utiliza milho seco. Conforme destacado por Bernardo (2019), erros nessa etapa podem comprometer a qualidade fermentativa e aumentar as perdas, por gases ou efluente. Portanto, é essencial seguir recomendações técnicas baseadas em pesquisas científicas, como manter a matéria seca entre 30% e 35%, compactar adequadamente o silo para excluir o oxigênio e utilizar cloreto de sódio em níveis de até 1% da matéria natural, conforme sugerido por SHOCKEY & BORGV (1991) e NEUMANN et al. (2010), para garantir fermentação eficiente e minimizar perdas.

As perdas de MS durante o processo de silagem são outro ponto crítico que merece atenção. Essas perdas podem ocorrer por gases liberados durante a fermentação ou por efluentes produzidos em excesso devido à alta umidade inicial do material. Batista e Cardoso (2022) ressaltam que a utilização de aditivos absorventes, como casca de café ou bagaço de cana-de-açúcar, pode ajudar a reduzir as perdas por efluente, melhorando a eficiência do processo. No entanto, o uso de coprodutos como casca de café deve considerar sua variabilidade química, presença de compostos não nutricionais e potencial impacto na palatabilidade da silagem (SANTOS et al., 2019). Além disso, práticas adequadas de compactação e vedação são fundamentais para minimizar as perdas por gases.

A silagem de grãos de milho também tem sido objeto de estudos voltados para a melhoria de sua estabilidade aeróbia após a abertura dos silos. A exposição ao oxigênio pode levar ao crescimento de microrganismos deteriorantes, como leveduras e fungos, comprometendo a qualidade do produto (NEUMANN et al., 2021; SANTOS et al., 2020).” Para mitigar esse problema, alguns pesquisadores têm investigado o uso de aditivos antifúngicos ou antioxidantes, que prolongam a vida útil da silagem após a abertura (CORIOLETTI et al., 2023).

Por fim, vale destacar que a silagem de grãos de milho é uma ferramenta estratégica para a sustentabilidade da produção animal. Ao permitir a conservação de grãos úmidos, colhidos naturalmente com umidade elevada (30–35% MS), enquanto os reconstituídos são grãos secos moídos que recebem adição controlada de água até atingirem teor adequado para ensilagem (GERON et al., 2017) ela reduz a dependência de processos de secagem artificial, que consomem grandes quantidades de energia. Além disso, a utilização de aditivos naturais, como o cloreto de sódio, oferece uma alternativa econômica e ambientalmente amigável para melhorar a qualidade fermentativa. Esses aspectos tornam a silagem de grãos de milho uma prática alinhada aos princípios da agricultura sustentável, contribuindo para a segurança alimentar e a eficiência produtiva.

Em síntese, a silagem de grãos de milho é uma técnica consolidada e amplamente utilizada na produção animal, graças à sua capacidade de preservar nutrientes e fornecer uma fonte concentrada de energia. Seu funcionamento baseia-se em princípios bem definidos de fermentação anaeróbica, e sua qualidade depende de práticas adequadas em todas as etapas do processo. Estudos recentes continuam a explorar novas formas de otimizar essa técnica, seja por meio do uso de aditivos,

da melhoria das práticas de ensilagem ou da avaliação de seus impactos nutricionais e econômicos. Assim, a silagem de grãos de milho permanece como uma solução prática e eficiente para enfrentar os desafios da produção animal moderna

2.2 O CLORETO DE SÓDIO

O cloreto de sódio, desempenha um papel fundamental na conservação de alimentos, incluindo a ensilagem de grãos de milho. Trata-se de um aditivo simples, econômico e amplamente disponível, que atua principalmente na redução da atividade de água nos alimentos, inibindo o crescimento de microrganismos indesejáveis, como fungos e bactérias deteriorantes. Essa característica faz com que o cloreto de sódio seja uma alternativa eficaz para melhorar a qualidade fermentativa e prolongar a estabilidade das silagens. Segundo Batista e Cardoso (2022), a utilização de aditivos como o cloreto de sódio pode reduzir significativamente as perdas nutricionais durante o processo de ensilagem, garantindo maior eficiência no uso dos recursos.

Também, a inclusão de cloreto de sódio na ensilagem de grãos de milho baseia-se em sua capacidade de criar um ambiente salino que favorece a proliferação de bactérias ácido-láticas, essenciais para a produção de ácido lático e a estabilização do pH. Ao mesmo tempo, ele exerce um efeito inibitório sobre microrganismos indesejáveis, como os *Clostridium spp.*, que são responsáveis pela produção de ácido butírico e outros compostos prejudiciais à qualidade da silagem.

A aplicação de cloreto de sódio também está associada à redução das perdas de matéria seca durante a ensilagem. Corioletti et al. (2023) enfatizam que a presença de sal pode diminuir a atividade de água, reduzindo a formação de efluentes e a liberação de gases durante a fermentação. Isso resulta em maior recuperação de matéria seca após o período de armazenamento, otimizando o uso dos grãos de milho como ingrediente na alimentação animal. Além disso, o cloreto de sódio pode ser combinado com outros aditivos, como inoculantes microbianos ou absorventes, para maximizar seus benefícios e melhorar ainda mais a qualidade da silagem.

No contexto da alimentação animal, a silagem de grãos de milho enriquecida com cloreto de sódio apresenta vantagens nutricionais significativas. Vieira et al. (2021) avaliaram o perfil bioquímico sanguíneo de coelhos alimentados com silagem de milho e observaram melhores resultados em termos de desempenho produtivo quando o cloreto de sódio foi utilizado como aditivo. Esses achados sugerem que o

sal não apenas melhora a qualidade fermentativa, mas também contribui para a digestibilidade e aproveitamento dos nutrientes pelos animais. Além disso, a inclusão de cloreto de sódio pode ajudar a equilibrar a dieta, fornecendo íons de sódio e cloro essenciais para a saúde e o metabolismo animal.

Apesar de suas vantagens, a utilização de cloreto de sódio na ensilagem de grãos de milho requer atenção quanto às doses recomendadas. Concentrações acima de 1,5% a 3% de NaCl na matéria natural são consideradas excessivas para ruminantes, podendo reduzir a ingestão voluntária e afetar parâmetros metabólicos e reprodutivos (SOUZA et al., 2016; NRC, 2001). Lopes et al. (2023) destacam que dietas com alto teor de sal, podem afetar negativamente o perfil de ácidos graxos e colesterol na carne de animais, comprometendo a qualidade do produto final. Portanto, é essencial seguir recomendações técnicas, baseadas em pesquisas científicas para garantir que a dose de cloreto de sódio seja suficiente para melhorar a qualidade fermentativa sem prejudicar o desempenho animal.

Outro aspecto relevante do uso de cloreto de sódio na ensilagem, é sua viabilidade econômica. Comparado a outros aditivos, como inoculantes microbianos ou enzimas, o cloreto de sódio apresenta custo relativamente baixo, tornando-o acessível para pequenos e grandes produtores. De Sousa et al. (2023) ressaltam que a combinação de cloreto de sódio com outros aditivos, como vinhaça ou cloreto de potássio, pode oferecer soluções sustentáveis e economicamente viáveis para melhorar a qualidade da ensilagem. Essa abordagem integrada, permite otimizar o uso de recursos e maximizar os benefícios para a produção animal.

A estabilidade aeróbia da silagem de grãos de milho, também pode ser beneficiada pelo uso de cloreto de sódio. Após a abertura dos silos, a exposição ao oxigênio pode levar ao crescimento de microrganismos deteriorantes (aeróbicos), como leveduras e fungos, comprometendo a qualidade do produto. A presença de sal ajuda a retardar esse processo, prolongando a vida útil da silagem e reduzindo as perdas pós-abertura. Júnior et al. (2024) destacam que a estabilidade aeróbia é particularmente importante em sistemas mistos de produção, onde a silagem é utilizada como componente estratégico em dietas formuladas para diferentes espécies animais.

Estudos recentes continuam a explorar novas formas de otimizar o uso de cloreto de sódio na ensilagem de grãos de milho. Entre as áreas de pesquisa emergentes estão a combinação de sal com outros aditivos naturais, como extratos

vegetais ou antioxidantes, e a avaliação de seu impacto sobre a microbiota ruminal e o desempenho animal Neumann et al. (2021) e Santos et al. (2020). Esses estudos visam não apenas melhorar a qualidade fermentativa, mas também contribuir para práticas mais sustentáveis e eficientes na produção animal.

Em síntese, o cloreto de sódio desempenha um papel crucial na ensilagem de grãos de milho, atuando como um aditivo eficaz para melhorar a qualidade fermentativa, reduzir perdas nutricionais e prolongar a estabilidade aeróbia. Seu uso é amplamente reconhecido por sua simplicidade, baixo custo e eficiência, tornando-o uma ferramenta valiosa para produtores que buscam maximizar a eficiência produtiva. No entanto, é essencial seguir recomendações técnicas e monitorar cuidadosamente as doses aplicadas para evitar possíveis efeitos adversos. Assim, o cloreto de sódio permanece como uma solução prática e sustentável para enfrentar os desafios da conservação de alimentos na produção animal moderna.

2.3 FERMENTAÇÃO E PERDAS DE MASSA SECA

ensilagem de grãos de milho, pois determina a qualidade final do produto. Durante a ensilagem, os carboidratos solúveis presentes nos grãos são convertidos em ácidos orgânicos, principalmente ácido lático, por bactérias ácido-láticas. Esse processo reduz o pH, inibindo principalmente o crescimento de microrganismos indesejáveis, como *Clostridium* spp., sem afetar significativamente as bactérias ácido-láticas benéficas (MUCK et al., 2018) e preservando os nutrientes. No entanto, a eficiência da fermentação pode ser influenciada por fatores como o teor de MS, a compactação e a presença de aditivos, como o cloreto de sódio. Segundo Oliveira e Oliveira (2014), o uso de cloreto de sódio pode melhorar o perfil fermentativo ao criar um ambiente salino que favorece as bactérias ácido-láticas e inibe organismos deteriorantes, como *Clostridium* spp.

As perdas de MS durante a ensilagem de milho são um desafio significativo para os produtores, pois impactam diretamente o valor nutritivo e a eficiência econômica do processo. Essas perdas podem ocorrer por gases liberados durante a fermentação ou por efluentes produzidos em excesso devido à alta umidade inicial do material. Rabelo et al. (2013) demonstraram que a adição de cloreto de sódio pode reduzir as perdas por efluente, uma vez que o sal diminui a atividade de água, promovendo maior estabilidade do material ensilado. Além disso, a presença de

cloreto de sódio pode minimizar as perdas por gases, contribuindo para uma maior recuperação de MS após o período de armazenamento, isso ocorre porque o cloreto de sódio reduz a atividade de microrganismos deteriorantes e inibe a degradação aeróbia da matéria orgânica durante o armazenamento, o que ajuda a preservar a matéria seca (SILVA et al., 2021).

O cloreto de sódio também desempenha um papel importante na modulação do perfil fermentativo da silagem de milho. Shockey e Borger (1991) observaram que concentrações adequadas de cloreto de sódio inibem o crescimento de *C. butyricum*, um microrganismo indesejável associado à produção de ácido butírico e perdas nutricionais. Por outro lado, as bactérias ácido-láticas, essenciais para uma boa fermentação, são tolerantes ao ambiente salino, garantindo a produção suficiente de ácido lático para estabilizar o pH. Essa seletividade microbiana é crucial para evitar falhas no processo fermentativo e maximizar a qualidade da silagem.

A metodologia atualmente utilizada para avaliar a fermentação e as perdas de MS segue protocolos padronizados, como os descritos por Pryce (1969) e Robertson e Van Soest (1981). Entre as análises mais comuns estão o pH, concentração de ácidos orgânicos e nitrogênio amoniacal, que permitem inferir indiretamente o sucesso fermentativo e, conseqüentemente, as perdas de MS. Essas avaliações permitem verificar o impacto do cloreto de sódio sobre o perfil fermentativo e identificar possíveis alterações que comprometam o valor nutritivo da silagem.

Estudos recentes também têm explorado o impacto do cloreto de sódio em combinação com outros aditivos na ensilagem de milho. Aguirre et al. (2024) avaliaram o uso de cloreto de sódio em conjunto com óxido de cálcio na silagem de capim BRS Capiáçu (*Pennisetum purpureum* cv.) e observaram melhorias significativas na qualidade fermentativa e na digestibilidade.

A técnica de ensilagem de milho com cloreto de sódio também tem sido avaliada em diferentes contextos de produção de silagens. Feres (2021) investigou o impacto do processamento de grãos e do tempo de armazenamento na qualidade da silagem de planta inteira de milho e concluiu que a adição de cloreto de sódio contribui para maior estabilidade e menor degradação nutricional ao longo do tempo. Esses achados reforçam a importância do cloreto de sódio como uma ferramenta prática e eficiente para enfrentar os desafios da conservação de alimentos na produção animal moderna.

3 METODOLOGIA

O experimento foi conduzido no delineamento inteiramente casualizado, com seis tratamentos e quatro repetições, totalizando 24 unidades experimentais. O estudo seguiu as normas éticas estabelecidas pelo Comitê de Ética no Uso de Animais (CEUA), sob o protocolo nº 11/2017. Os tratamentos corresponderam à adição de diferentes níveis de cloreto de sódio (sal branco iodado comum) com base na matéria natural: 0,0, 0,5, 1,0, 1,5, 2,0 e 2,5%.

Foram utilizados canos de PVC como silos experimentais, com dimensões de 0,4 m de comprimento e 0,1 m de diâmetro. O milho moído foi reconstituído com salmoura até atingir 35% de MS. A massa foi compactada em cada silo a uma densidade de 900 kg de matéria natural/m³, e os silos foram vedados com tampas de PVC para garantir condições anaeróbias durante o período de armazenamento. Após 90 dias de fermentação, os silos foram abertos, e amostras da parte central do material ensilado foram coletadas para análises laboratoriais.

Todas as amostras foram pesadas e secas em estufa a 65 °C até peso constante para determinação do teor de MS. Posteriormente, as amostras secas foram trituradas em moinho tipo Willey, com peneira de <1 mm, e armazenadas em recipientes plásticos fechados para determinação da PB, FDN e pH (Robertson e Van Soest, 1981; AOAC, 1990)

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA), e as equações de regressão polinomiais nos níveis linear e quadrático, foram ajustadas utilizando o programa estatístico SISVAR, com nível de significância de 5% de probabilidade.

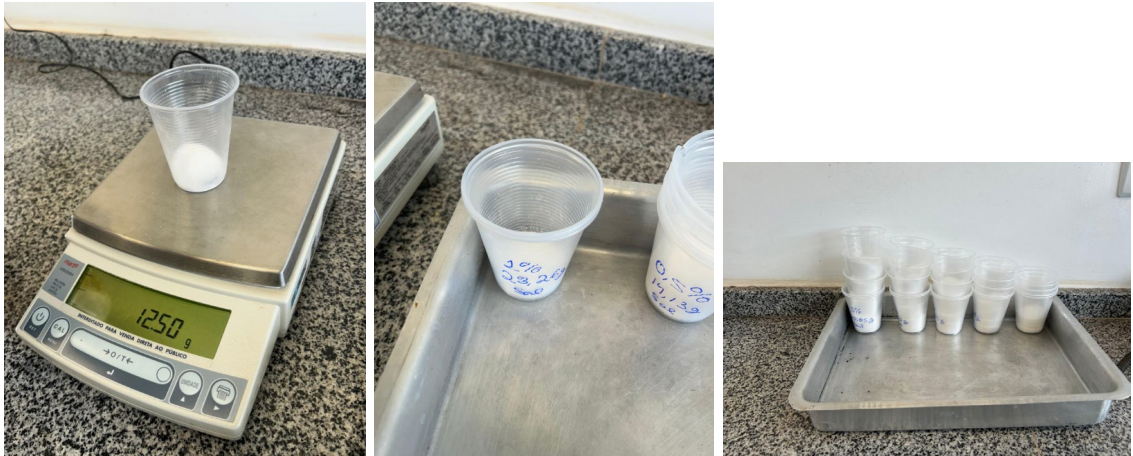


Figura 1 - Pesagem da quantidade de sal por amostra e Rotulagem das amostras de NaCl



Figura 2 - Preparação para a ensilagem



Figura 3 - Compactação da silagem no cano PVC



Figura 4 - Amostras prontas para a fermentação

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os teores de PB (Tabela 1) e FDN (Tabela 2) das silagens de milho reconstituído não foram significativamente influenciados pelas diferentes doses de NaCl ($P < 0,05$), mantendo médias próximas de 9,3% e 9,1%, respectivamente. Esses valores são compatíveis com os padrões esperados para silagens de milho, indicando que a adição de sal, nas concentrações avaliadas, não comprometeu a qualidade bromatológica desses parâmetros. Por outro lado, os valores de pH (Tabela 3) apresentaram comportamento linear, com elevação significativa conforme o incremento das doses de NaCl ($p < 0,05$). A partir da dose de 1%, observou-se que o pH ultrapassou o valor de 4,6, um limiar crítico que torna o ambiente mais propício à proliferação de microrganismos indesejáveis, como as bactérias do gênero *Clostridium*. Essas bactérias são anaeróbias, proteolíticas e estão associadas à produção de ácido butírico e aminas biogênicas, que comprometem a estabilidade fermentativa e a qualidade nutricional da silagem.

Segundo Woolford (1990), a adequada acidificação é fundamental no processo de ensilagem, atuando como principal mecanismo de inibição de microrganismos deterioradores, incluindo fungos filamentosos e bactérias butíricas. O aumento progressivo do pH observado neste estudo sugere que a adição de NaCl, embora não afete diretamente os teores de nutrientes, altera o equilíbrio do ambiente anaeróbico, tornando-o menos estável e mais suscetível à deterioração.

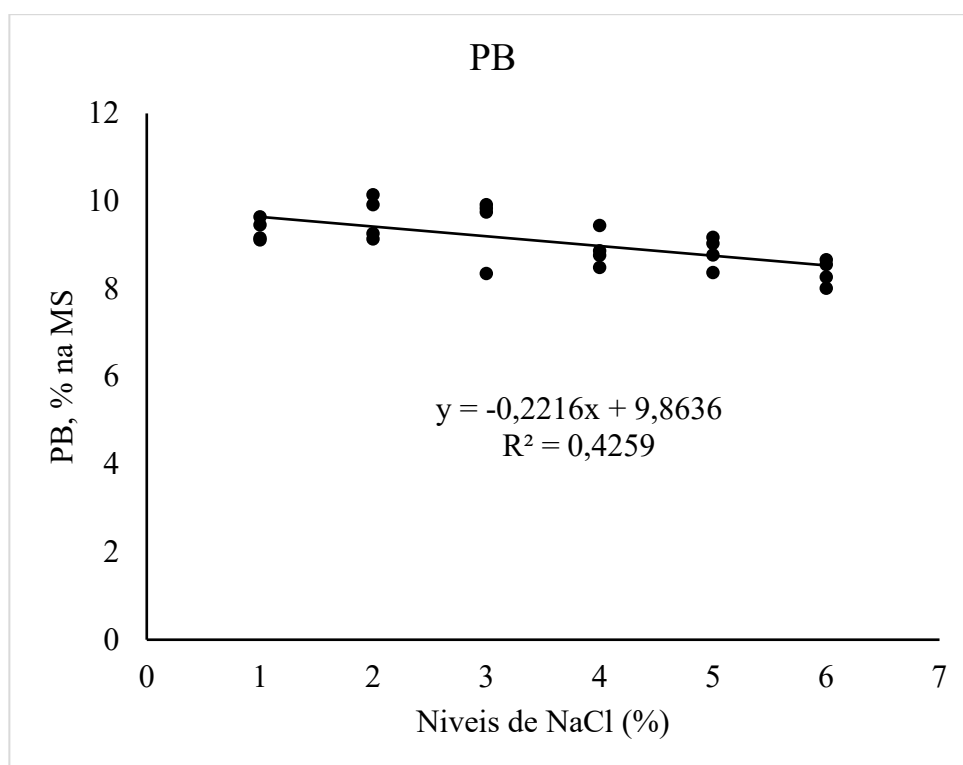
Do ponto de vista prático, esse efeito é particularmente relevante em condições tropicais, onde as temperaturas mais elevadas favorecem o crescimento de bactérias indesejáveis. Assim, embora o uso do cloreto de sódio possa ser considerado como um aditivo conservante em determinadas circunstâncias, os dados obtidos neste trabalho indicam que doses superiores a 1% devem ser evitadas. Mais estudos são necessários para avaliar os efeitos do cloreto de sódio em diferentes materiais forrageiros, tempos de armazenamento e sob distintas condições ambientais.

Analises de regressão linear

Proteína Bruta

A análise de variância indicou efeito significativo dos tratamentos sobre os teores de proteína bruta (PB) da silagem de grãos de milho reconstituídos, com valor de $p = 0,0098$. Como esse valor é inferior ao nível de significância de 5% ($p < 0,05$), rejeita-se a hipótese nula, concluindo-se que os diferentes níveis de cloreto de sódio influenciaram significativamente os teores de PB da silagem.

Gráfico 1 - Gráfico linear dos teores de proteína bruta



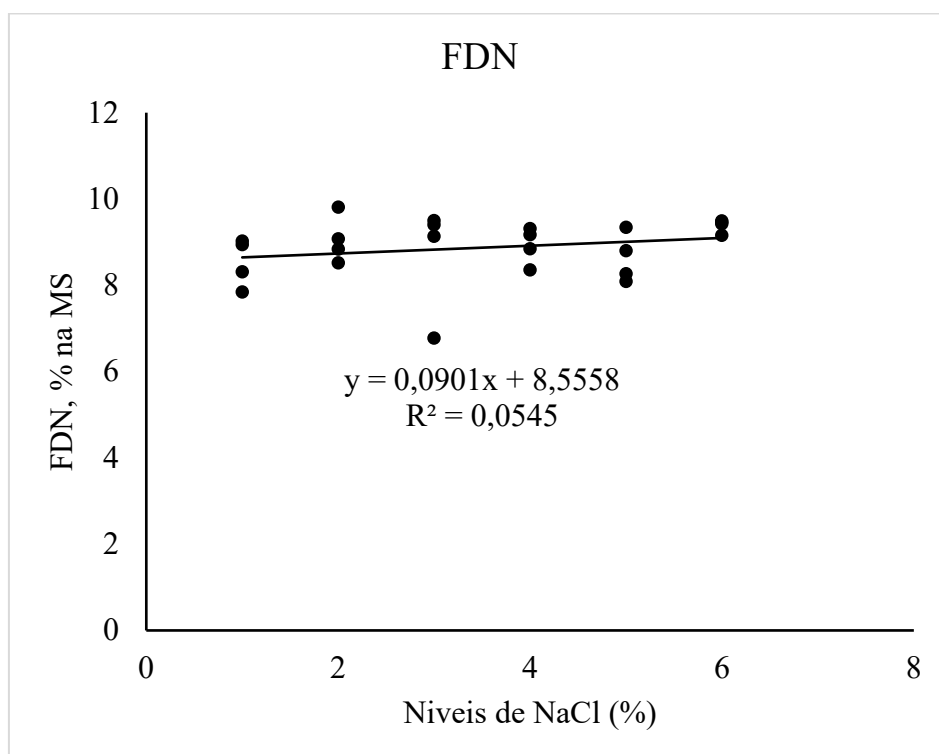
Com base na regressão linear ajustada a partir dos dados brutos no Excel, observa-se uma tendência de redução nos teores de PB à medida que aumentam os níveis de cloreto de sódio. A equação da reta obtida foi $y = -221,56x + 9863,6$, com coeficiente de determinação $R^2 = 0,4259$, indicando que aproximadamente 42,6% da variação nos teores de PB pode ser explicada pelos níveis crescentes de cloreto de sódio. Essa equação e o R^2 foram obtidos no Excel, que utiliza os dados completos para ajustar o modelo, enquanto o software estatístico (Sisvar) apenas avalia a significância da regressão.

Esses resultados sugerem que, embora a magnitude da variação não seja extrema, o aumento na concentração de cloreto de sódio pode impactar negativamente a preservação proteica da silagem, possivelmente devido à interferência no processo fermentativo.

Fibra de detergente neutro

A análise de variância (ANAVA) demonstrou que os diferentes níveis de cloreto de sódio não influenciaram significativamente os teores de FDN da silagem de grãos de milho reconstituídos ($p = 0,5258$). Como o valor de p é superior ao nível de significância de 5% ($p > 0,05$), não se rejeita a hipótese nula, indicando que não houve diferença estatística entre os tratamentos.

Gráfico 2 - Gráfico linear do teor de FDN



O gráfico de regressão linear ajustado no Excel revela uma tendência de leve aumento nos teores de FDN com o incremento das doses de cloreto de sódio. A

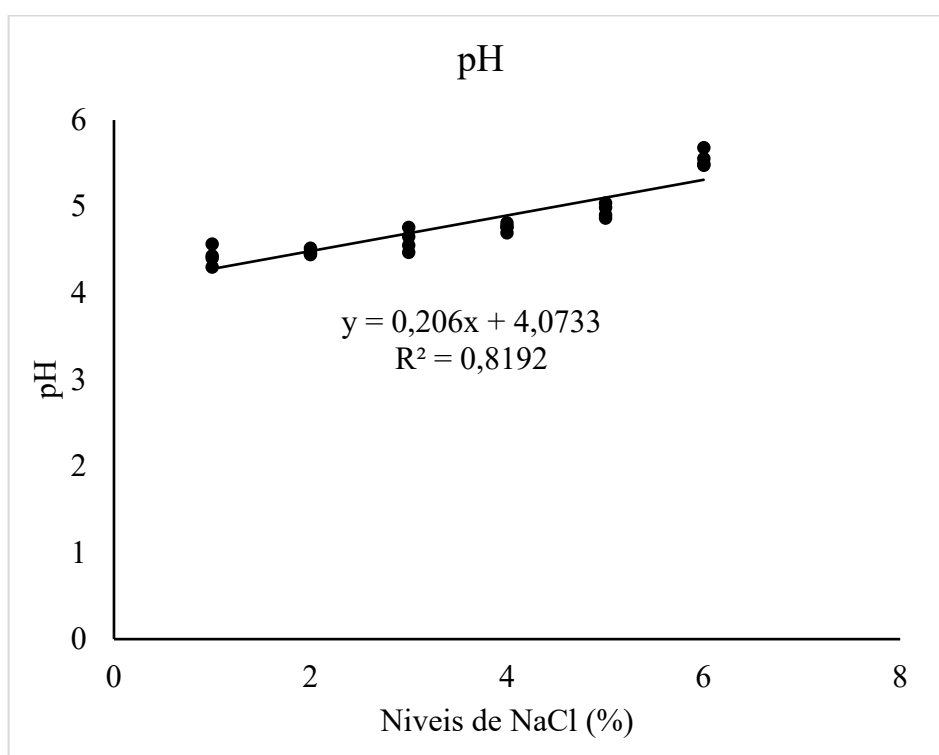
equação da reta obtida foi $y = 90,143x + 8555,8$, com $R^2 = 0,0545$, indicando que apenas 5,45% da variação nos dados é explicada pelo modelo.

Dessa forma, embora o modelo gráfico apresente uma leve tendência ascendente, ela não é estatisticamente significativa. A variação observada entre os tratamentos provavelmente se deve à variabilidade experimental ou ao acaso, e não ao efeito direto do cloreto de sódio sobre a fração fibrosa da silagem.

PH

A análise de variância (ANAVA) indicou efeito significativo dos tratamentos sobre os valores de pH da silagem, com $p < 0,0001$. Esse valor está abaixo do nível de significância de 5%, indicando que a diferença entre os tratamentos não ocorreu ao acaso. O valor de $F_c = 91,421$ também reforça a presença de um efeito altamente significativo do cloreto de sódio sobre essa variável.

Gráfico 3 - Gráfico linear do teor de PH



O gráfico 3 mostra o comportamento do pH em resposta aos níveis crescentes de cloreto de sódio. A equação da regressão linear foi $y = 0,2069x + 4,0693$, com coeficiente de determinação $R^2 = 0,8057$, obtido via Excel, que reflete melhor o ajuste real dos dados. Segundo orientação metodológica, o programa estatístico serve para verificar a significância da regressão, enquanto a equação e o R^2 mais precisos devem ser obtidos diretamente no Excel.

Observa-se uma tendência linear crescente, indicando que, à medida que se aumentam os níveis de cloreto de sódio, também há um aumento progressivo no pH da silagem. A partir da dose de 1%, os valores ultrapassam o limiar crítico de **pH 4,6**, condição que favorece a proliferação de microrganismos indesejáveis, como as bactérias do gênero *Clostridium*, que são anaeróbias, proteolíticas e produtoras de ácido butírico, prejudicando a qualidade fermentativa da silagem.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo demonstrou que a adição de cloreto de sódio na ensilagem de grãos de milho reconstituídos promoveu efeitos distintos sobre os parâmetros avaliados. A análise de variância revelou que apenas o pH foi significativamente influenciado pelos diferentes níveis de cloreto de sódio ($p < 0,05$), enquanto os teores de proteína bruta (PB) e fibra em detergente neutro (FDN) não apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos.

No caso da PB, embora a ANOVA tenha indicado significância ($p = 0,0098$), o modelo de regressão linear demonstrou uma explicação moderada da variância ($R^2 = 42,6\%$), sugerindo tendência de redução dos teores de PB com o aumento das doses de cloreto de sódio. Isso pode refletir alterações no processo fermentativo ou na degradação proteica causada por variações no ambiente de ensilagem, embora os valores médios tenham permanecido próximos do padrão esperado para silagens de milho ($\sim 9,3\%$).

Para a FDN, os resultados não evidenciaram efeito significativo do cloreto de sódio ($p = 0,5258$), e o modelo de regressão apresentou baixo ajuste ($R^2 = 5,45\%$), indicando que a variabilidade nos teores de fibra não foi explicada pela adição de sal, e sim por fatores aleatórios ou inerentes à variabilidade experimental.

Por outro lado, o pH apresentou aumento linear altamente significativo ($p < 0,0001$), com coeficiente de determinação R^2 de 85,14%, demonstrando forte relação entre os níveis crescentes de cloreto de sódio e a elevação do pH da silagem. A partir da concentração de 1%, o pH ultrapassou o limite de 4,6, que é considerado crítico para a proliferação de bactérias indesejáveis, como os *Clostridium* spp. Tais microrganismos comprometem a estabilidade fermentativa e podem provocar perdas nutricionais e deterioração da silagem, especialmente em ambientes tropicais onde sua multiplicação é favorecida.

Diante disso, conclui-se que o uso de cloreto de sódio como aditivo deve ser criterioso. Doses superiores a 1% podem comprometer a estabilidade anaeróbica da silagem, elevando o pH a níveis que favorecem a deterioração microbiológica. Assim, embora o cloreto de sódio possa oferecer algum efeito conservante, seu uso em altas doses não é recomendado sem o devido controle das condições de fermentação.

O estudo reforça a importância de práticas adequadas de ensilagem, como controle do teor de matéria seca, compactação e vedação eficientes, além de incentivar novas pesquisas com diferentes materiais forrageiros e estratégias associadas, como o uso de inoculantes bacterianos, para garantir a qualidade e segurança do alimento conservado.

REFERÊNCIAS

- AGUIRRE, Priscila Flôres et al. QUALIDADE BROMATOLÓGICA DA SILAGEM DO CAPIM BRS CAPIAÇU COM O USO DE ADITIVOS SOB DIFERENTES INTERVALOS DE CORTE. **REVISTA FOCO**, v. 17, n. 12, p. e7240-e7240, 2024.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMIST - **AOAC. Official methods of analyses of the Association of Official analytical chemists**. 15 ed. Arlington, VA. 1990.
- BATISTA, Lucas Osmar; CARDOSO, Adriano Ramos. AVALIAÇÃO NUTRICIONAL DE SILAGEM DE CANA-DE-AÇÚCAR ENSILADA E SUBMETIDA A DIVERSOS ADITIVOS. **Arquivos Brasileiros de Medicina Veterinária FAG**, v. 5, n. 2, p. 138-145, 2022.
- BERNARDO, T. F. **Silagem de grãos reconstituídos**: qual é a correta quantidade de água. 2019. Disponível em: <https://www.milkpoint.com.br/colunas/thiago-fernandes-bernardes/silagem-degraos-reconstituídos-qual-e-a-correta-quantidade-de-agua-217124/>. Acesso em: 12 de Maio de 2024.
- CORIOLETTI, Níbia Sales Damasceno et al. DIFERENTES ALTERNATIVAS PARA ADITIVAÇÃO DE SILAGEM DE MILHO. **TÓPICOS EM PRODUÇÃO ANIMAL E FORRAGICULTURA Volume**, p. 32, 2023.
- DE MORAES VIEIRA, Maitê et al. Perfil bioquímico sanguíneo de coelhos alimentados com silagem de milho ou girassol. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 4, n. 1, p. 1520-1529, 2021.
- DE SOUSA, Juliana Pereira et al. Produtividade do milho em diferentes manejos de adubação com vinhaça e cloreto de potássio. **Brazilian Journal of Science**, v. 2, n. 3, p. 14-23, 2023.
- FELDMANN, Neuri Antonio et al. PROCESSAMENTO DE GRÃOS: ANÁLISE KPS NA PRODUÇÃO DE SILAGEM DE MILHO. **Revista Inovação: Gestão e Tecnologia no Agronegócio**, v. 2, p. 169-187, 2023.
- FERES, Faruk da Silveira. **Utilização de processador de grãos em silagem de milho armazenada por dois períodos**. 2021.
- ÍTAVO, C. C. B. F. et al. Parâmetros fermentativos de silagens de grãos úmidos de milho com ou sem o uso de aditivo microbiano. **Anais da reunião anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, Santa Maria, 2003.
- JOHNSON, R. R. et al. Corn plant maturity. II. Effect on in vitro cellulose digestibility and soluble carbohydrate content. *Journal of Animal Science*, v. 25, p.617-623, 1966.
- JÚNIOR, José ANDRÉ et al. DESEMPENHO PRODUTIVO DE CAPRINOS NATIVOS DA RAÇA CANINDÉ DENTRO DE UM SISTEMA MISTO DE PRODUÇÃO. **Facit Business and Technology Journal**, v. 1, n. 55, 2024.

LOPES, José Evanaldo et al. Perfil dos ácidos graxos e colesterol da carne de cordeiros submetidos aos sistemas de produção com dieta experimental e convencional. **Revista Brasileira de Higiene e Sanidade Animal: RBHSA**, v. 17, n. 3, p. 5, 2023.

MEDEIROS, Elisama dos Santos et al. **Silagem de grão de milho umidificado com diferentes aditivos em dietas para caprinos confinados em crescimento**. 2022.

NEUMANN, N. et al. Aditivos químicos utilizados em silagens. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v.3, n.2, Mai.- Ago., 2010.

OLIVEIRA, P. S.; OLIVEIRA, J. S. Produção de silagem de milho para suplementação do rebanho leiteiro. **Comunicado Técnico 74 -EMBRAPA**, Juiz de Fora, 2014.

PRYCE, J. D. A modification of the Barker-Summerson method for the determination of lactic acid. **Analyst**, v.94, n.125, p.1151–1152, 1969. doi: 10.1039/AN9699401151.

RABELO, F. H. S. et al. Consumo e desempenho de ovinos alimentados com silagens de cana-de-açúcar tratadas com óxido de cálcio e cloreto de sódio. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.**, v.65, n.4, p.1158-1164, 2013.

ROBERTSON, J. B.; VAN SOEST, P. J. The detergent system of analysis and its application to human foods. In: JAMES et al (Eds). The analysis of dietary fiber in food. **New York: Marcel Dekker**. p.123-158, 1981.

SHOCKEY, W. L.; BORGER, D. C. Effect of Salt on Fermentation of Alfalfa. 2. Treatment with Sodium Chloride, Clostridium butyricum, and Lactic Acid Bacteria. **Journal of Dairy Science**, v.74, Issue 1, p.160-161, January, 1991.

SILVA, W. A. **Cana-de-açúcar ensilada com sal e óxido de cálcio**. Dissertação apresentada à Universidade José do Rosário Vellano/UNIFENAS, Alfenas, 2010.

TILLEY, J. M. A.; TERRY, R. A. A two-stage technique for the “in vitro” digestion of forage crops. **Journal of the British Grassland Society**. v.18, n.2, p.104-111, 1963.

VIEIRA, Maitê Moraes et al. Desempenho e análise econômica de coelhos cruzados em crescimento suplementados com silagem de milho ou silagem de girassol. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 27, n. 1, p. 99-109, 2021.

VILELA, H. H. et al. Cana-de-açúcar ensilada com sal ou ureia. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável (RBAS)**, v.4, n.1, p.38-44, 2014