

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS
DEPARTAMENTO DE ZOOTECNIA

EDIGELSON DAVID BARCELLOS JUNIOR

COMPOSIÇÃO BROMATOLÓGICA E ESTABILIDADE AERÓBICA DA
SILAGEM DE CANA-DE-AÇÚCAR EM DIFERENTES TEMPOS DE
ABERTURA E ADITIVOS

ALEGRE
ESPÍRITO SANTO
2023

EDIGELSON DAVID BARCELLOS JUNIOR

COMPOSIÇÃO BROMATOLÓGICA E ESTABILIDADE AERÓBICA DA
SILAGEM DE CANA-DE-AÇÚCAR EM DIFERENTES TEMPOS DE
ABERTURA E ADITIVOS

Trabalho de Conclusão de
Curso apresentado ao
Departamento de Zootecnia do
Centro de Ciências Agrárias e
Engenharias da Universidade
Federal do Espírito Santo, como
requisito parcial para obtenção
do título de Bacharel em
Zootecnia.

Orientador: Prof. Dr. Marco
Túlio Almeida Costa

ALEGRE
ESPÍRITO SANTO
2023

EDIGELSON DAVID BARCELLOS JUNIOR

COMPOSIÇÃO BROMATOLÓGICA E ESTABILIDADE AERÓBICA DA
SILAGEM DE CANA-DE-AÇÚCAR EM DIFERENTES TEMPOS DE
ABERTURA E ADITIVOS

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Zootecnia.

Aprovado em 15 de dezembro de 2023

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Marco Túlio Costa Almeida
Universidade Federal do Espírito Santo

Prof. Dr. Roberta de Lima Valença
Universidade Federal do Espírito Santo

Diego Casagrande Prata Pravato
SENAR AR/ES

DEDICATÓRIA

Dedico essa grande conquista a meus pais, que sempre me incentivaram e me apoiaram em todas as minhas decisões e escolhas.

De forma muito especial, dedico todas as minhas conquistas, principalmente minha mãe, que desde sempre, enfrentou todos os meus problemas ao meu lado, sempre com muito carinho e amor, batalhou incansavelmente, de segunda a segunda, sem medir esforços para que eu pudesse ter tudo que eu precisasse.

Dedico também ao meu orientador que sempre me apoiou desde o primeiro momento e me incentivou.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais que me sustentaram e confiaram em mim durante todo o processo e a minha irmã, que foi, é e sempre será minha grande companheira da vida.

Ao meu orientador, Marco Túlio, que me aturou em todas as reclamações ao longo do processo, e se disponibilizou a ajudar em absolutamente tudo, desde a aquisição dos materiais necessários até as coletas de análise e de dados.

A minha orientadora de monitoria Professora Mariana Duran, que contribuiu grandemente para minha permanência na universidade. Esteve comigo, me aconselhando e ajudando desde do início em 2019.

Ao Gustavo Salvati, que gentilmente contribuiu com a doação do Blend de ácidos orgânicos, que foi um dos tratamentos testados.

Todos os amigos estiveram presentes no dia em que fizemos a silagem, resistiram maravilhosamente de baixa de um sol absurdo que é característico de Alegre, e me auxiliaram no laboratório. Em especial a Marianna e Letícia (estagiária kkkkkk).

A minha nordestina arretada, Profa. Roberta que chegou tarde, mas foi o suficiente para que eu pudesse conhecê-la. Obrigado pela companhia em momentos que ficarão para sempre na memória.

A amigo/irmão que a vida me deu, Matheus, você é incrível e não canso de me orgulhar de ti, te admiro muito. Obrigado por ter sido meu companheiro de república, e ter aturado todas as minhas manias de dono de casa.

E por fim e mais importantes, aos meus amigos de caminhada, de longa caminhada. Àqueles que tiveram junto comigo desde os primeiros dias da graduação: ALAN, BRUNA, HEMANUELLY, JOÃO PEDRO, NATÁLIA, SUELLEN, THAYNARA, VITOR. Vocês são incríveis, cada um é especial no seu jeito de ser. Obrigado por tudo, levarei um pouco de cada um de vocês para sempre em meu coração. Obrigado por terem compartilhado momentos únicos e incríveis. Obrigado por terem me suportado os inúmeros dias que até eu não me suporte kkkkkkkk.

OBRIGADO A TODOS POR TUDO, AMO CADA UM DE VOCÊS!

RESUMO

O Brasil, devido à sua extensão na zona tropical, enfrenta problemas com a sazonalidade climática. As forrageiras tropicais predominantes respondem de maneira variada, com maior produtividade na estação chuvosa, devido a condições climáticas favoráveis. Contudo, na estação seca a produtividade é reduzida, levando à necessidade de estratégias de conservação de alimentos para o fornecimento aos animais em períodos críticos. A silagem de gramíneas tropicais, como a cana-de-açúcar, aparece como uma alternativa crucial para garantir o fornecimento de alimentos durante períodos escassos. A ensilagem, um processo complexo, visa armazenar forragens com perdas mínimas de valor nutritivo. A cana-de-açúcar destaca-se na produção de silagem devido à sua alta produtividade e custo competitivo, apesar do desafio do alto teor de carboidratos solúveis, que pode resultar em perdas nutricionais devido à fermentação. Isto posto, o presente trabalho objetivou avaliar a eficiência de diferentes aditivos na conservação do valor nutritivo e na estabilidade aeróbia da silagem de cana ensacada. Os tratamentos avaliados consistiram em: TR1= Controle, sem aditivo; TR2= Silagem com aditivo químico; TR3= Silagem com inoculantes específico; TR4= Silagem com inoculante para silagem em geral. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, com medidas repetidas no tempo, sendo os sacos de silagem considerados como unidades experimentais. Foi constatado maior o teor de matéria seca dos tratamentos que foram utilizados aditivos em relação ao tratamento controle. Os teores de FDN e FDA não apresentaram diferença significativa na média dos períodos e entre os tratamentos. O índice de recuperação de matéria seca diferiu, sendo o aditivo químico e o com inoculantes específicos os que tiveram maior índice. Maior estabilidade entre a média dos tratamentos foi observada no período de 14 dias do material ensilado e a menor estabilidade com 7 e 60 dias. Em conclusão, o uso de aditivos promoveu maior recuperação de matéria seca e estabilidade aeróbica, portanto, recomenda-se a utilização de aditivo químico e de inoculante bacteriano específico para cana-de-açúcar para silagens.

Palavras-chaves: Ácidos orgânicos; Bactérias; Estiagem; Fermentação; Inoculantes; leveduras.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	viii
LISTAS DE FIGURAS	iv
1. INTRODUÇÃO	10
2. REVISÃO DE LITERATURA	11
2.1 Estacionalidade forrageira	11
2.2 Cana-de-açúcar.....	12
2.3 Produção de silagem.....	13
2.4 Padrão fermentativo de silagens	15
2.5 Aditivos.....	15
2.5.1 Inoculante bacteriano	16
2.5.2 Aditivo químico	17
2.6 Estabilidade aeróbica	17
3. MATERIAIS E MÉTODOS	18
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	26
5. CONCLUSÃO	36
6. REFERÊNCIAS	37
ANEXO A - VARIAÇÕES DE CLIMA DO BRASIL	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Composição bromatológica da cana-de-açúcar antes da ensilagem.	19
Tabela 2. Parâmetros bromatológicos de silagem de cana-de-açúcar submetida a diferentes tratamentos, em diferentes períodos..	27
Tabela 3. Carboidratos fibrosos da silagem de cana-de-açúcar submetida a diferentes tratamentos, em diferentes períodos.	31
Tabela 4. Parâmetros fermentativos das silagens.....	32

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1. Quantitativo do rebanho bovino brasileiro por estado	11
Figura 2. Sazonalidade de produção x demanda forageira	12
Figura 3. Processo de ensilagem: Descarregamento da cana-de-açúcar picada, Incorporação do aditivo e Ensacamento. Animais alojados nas baias.	19
Figura 4. Disposição e armazenamentos dos sacos de silagem.....	20
Figura 5. Análise de matéria seca parcial e definitiva.	21
Figura 6. Análise de matéria mineral.....	21
Figura 7. Análise de Proteína Bruta.	22
Figura 8. Análise de FDN e FDA.....	23
Figura 9. Leitura do pH.....	24
Figura 10. Processo de maceração da silagem em água destilada para análise de nitrogênio amôniaal.	25
Figura 11. Aferição da temperatura da silagem após a abertura dos sacos.	26
Figura 12. Presença de grãos de areias na cinza..	29
Figura 13. Avaliação da estabilidade aeróbida através da temperatura em função do tempo com 7 dias de ensilado (A), 14 dias de ensilado (E), 30 dias de ensilado (B), 45 dias de ensilado (C) e 60 dias de ensilado (D).....	34

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é considerado país tropical, devido sua maior extensão territorial estar na zona tropical. Isso implica em estações com diferentes particularidades, sendo o índice pluviométrico, uma das características que são alteradas. Dessa forma, o verão tem índices pluviométricos consideráveis, enquanto o inverno é seco (MOUSQUER et al., 2013).

As forrageiras presentes no Brasil são predominantemente tropicais. Devido a isso, no verão, com índices pluviométricos satisfatórios, altas temperaturas e fotoperíodo longos, estas apresentam boa produtividade e qualidade. Em contrapartida, no inverno com menores índices pluviométricos, menor temperatura e fotoperíodo mais curto, a produtividade e qualidade diminui (PAULA et al., 2020).

Devido a esta disparidade produtiva, aproveita-se as condições favoráveis de produção no verão, para produzir, colher e conservar volumosos para utilizar em períodos de escassez. Os métodos de conservação mais comuns são a fenação, ensilagem e pré-secagem (REIS et al., 2017), sendo a ensilagem a mais utilizada devido a menor perda de qualidade do produto original (CÂNDIDO & FURTADO, 2020). De maneira geral, a ensilagem é mais utilizada no Brasil, pois envolve o uso de máquinas mais simples, com custo mais baixo, quando comparado à fenação

A conservação em forma de silagem é uma das alternativas que tem por finalidade garantir a disponibilidade de alimentos para animais durante períodos de escassez de pastagens, tanto para aqueles mantidos em pasto, quanto para os confinados, durante todo o ciclo produtivo (PEREIRA et al., 2019).

Dentre as forrageiras tropicais, a cana-de-açúcar tem se destacado na produção de silagem, devido a sua boa produtividade, que pode superar 40 toneladas de matéria seca por hectare ao ano, em regiões com condições ambientais favoráveis ao seu desenvolvimento (STRAPAZZON, 2022). Além disso, o custo de produção de matéria seca produzido é baixo, em relação a outras culturas comumente utilizadas como milho e sorgo.

Em contrapartida, o alto teor de carboidratos solúveis presente na cana-de-açúcar favorecem a fermentação por leveduras e conseqüentemente a produção de etanol e gás carbônico (CAREGNATO et al., 2019). Tal fato implica em perdas de nutricional em detrimento da degradação dos carboidratos e diminuição do consumo.

Para redução de perdas em detrimento de processos de degradação, tem se

usado aditivos químicos e biológicos, que atuam no processo de fermentação promovendo uma fermentação mais rápida e eficiente e inibição do crescimento de leveduras (MUCK, 2010).

Dessa forma, a fim de contornar problemas de conservação da silagem de cana, objetivou-se neste estudo avaliar diferentes aditivos na ensilagem de cana-de-açúcar sobre a conservação nutricional e estabilidade aeróbica da silagem.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Estacionalidade forrageira

A estacionalidade forrageira no Brasil é um fenômeno natural que infere na produção pecuária, influenciando diretamente a disponibilidade dos recursos alimentares para o gado ao longo do ano (EDUARDO et al., 2010).

A maior parte do rebanho brasileiro de bovinos está concentrada nos estados de Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais e Pará (Figuras 1). Com exceção do estado do Pará, os demais estados apresenta clima Tropical Brasil Central (Anexo A).

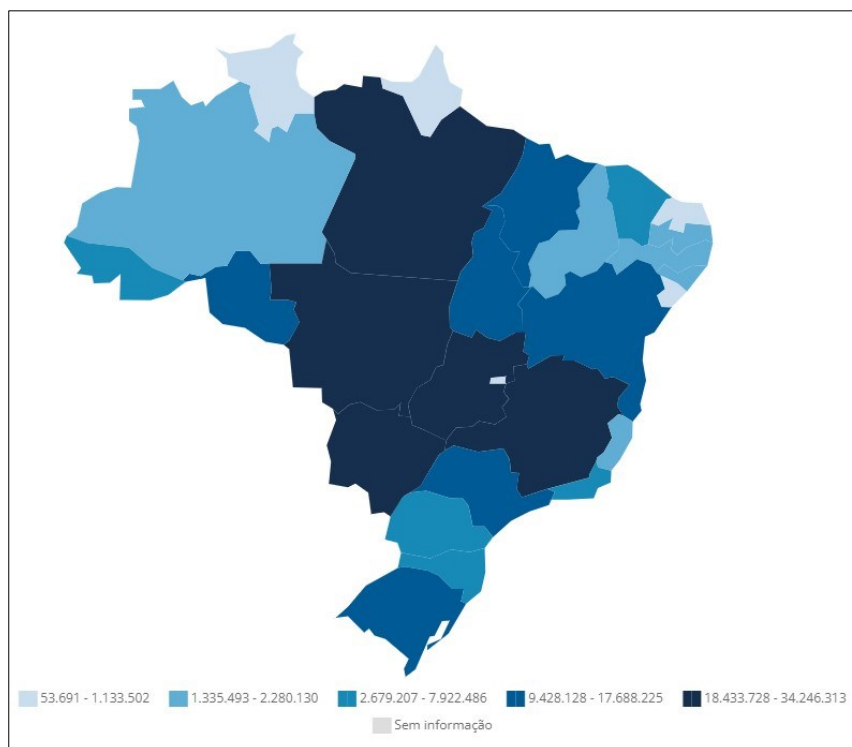


Figura 1: Quantitativo do rebanho bovino brasileiro por estado.
Fonte: IBGE

O clima Tropical Brasil Central é caracterizado por apresentar durante os verões, períodos chuvosos, enquanto no inverno há pouca precipitação e eventos de estiagem. Além da produção de biomassa, (Figura 2), provoca alterações qualitativas na composição química das forragens (EVANGELISTA et al. 2004). Isso resulta em menor quantidade e qualidade durante os períodos de menor precipitação pluviométrica. Durante a estação chuvosa, há um beneficiamento no desenvolvimento das plantas. Nesse período, a qualidade nutricional tende a ser mais elevada devido ao crescimento vigoroso das forragens.

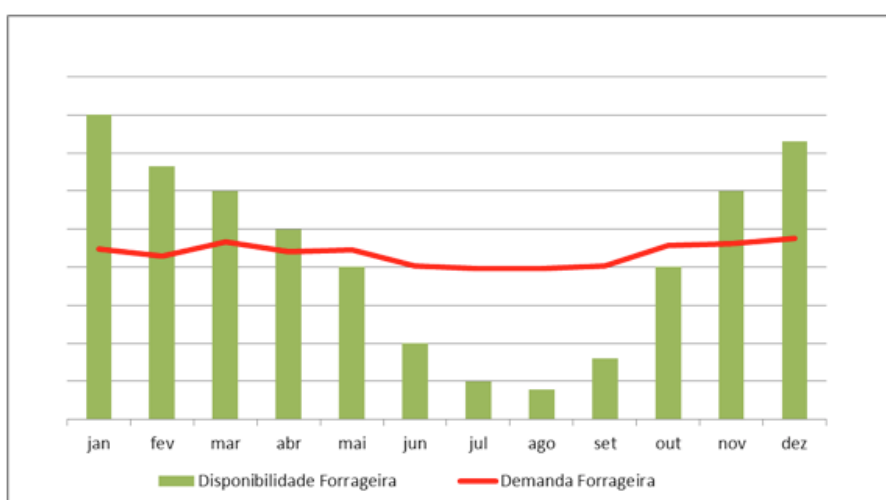


Figura 2. Sazonalidade de produção x demanda forrageira.
Fonte: Nutron

Essa variação sazonal na estacionalidade forrageira impõe desafios aos produtores de gado, que precisam adotar estratégias eficientes de manejo para garantir a alimentação adequada do rebanho durante todo o ano. Dentre essas estratégias, destaca-se o uso de técnicas de conservação de forragem, como a ensilagem, fenação e/ou pré-secagem, para armazenar e preservar o excedente de forragem produzido durante os períodos mais favoráveis.

2.2 Cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*), é uma gramínea perene, pertencente ao gênero *Saccharum*, apresenta um ciclo de crescimento que se beneficia de condições climáticas distintas e bem definidas. Segundo Silva et al. (2021), idealmente, seu cultivo requer a presença de duas estações claramente delineadas: uma estação

quente e úmida, que favorece o desenvolvimento vegetativo, e uma estação fria e seca, que é crucial para a maturação e o acúmulo de sacarose nos colmos.

No contexto do Brasil, a sazonalidade climática é um fator preponderante que propicia o cultivo da cana-de-açúcar em grande parte do território nacional. O país é um destacado produtor mundial desse cultivo, com uma produção de 654,5 milhões de toneladas na safra 2020/21, com destinação principalmente para a produção de açúcar e etanol (NACHILUK, 2021).

A cultura da cana-de-açúcar é prontamente estabelecida, demandando intervenções culturais mínimas. Consequentemente, essa cultura é amplamente disseminada em propriedades rurais de pequeno e médio porte, uma vez que não exige a aplicação de tecnologias avançadas para sua implantação e manutenção. A reduzida dependência de tecnologias, combinada com sua alta produtividade, resulta em custos reduzidos para a produção de matéria seca, o que, por sua vez, diminui os gastos com alimentação animal durante o período de estiagem (CÂNDIDO et al. 2020).

Na área da pecuária, a cana-de-açúcar é amplamente empregada como uma forragem suplementar durante os períodos de escassez de pastagens, notadamente durante a estação de inverno, que coincide com o período de maturação da cultura. Essa prática assegura a estabilidade da produção ao longo do ano, devido ao alto valor nutricional da cana-de-açúcar nesse mesmo período (DA SILVA et al., 2020).

Rotineiramente, a cana-de-açúcar é cultivada em capineiras e colhida diariamente para alimentar o gado *in natura*. Contudo, tal método se depara com desafios de custo operacional significativos e ociosos. Com o intuito de mitigar tais desafios, sugere-se a implementação de práticas de ensilagem nas propriedades, unificando as operações de colheita e armazenamento, o que resulta em uma substancial redução dos custos operacionais.

2.3 Produção de silagem

Com o objetivo de assegurar a estabilidade na produção e fornecer volumoso em quantidade e qualidade adequadas para o gado ao longo do ano, os pecuaristas devem implementar estratégias apropriadas. Conforme descrito por Echeverria et al. (2017), as estratégias mais comuns incluem o diferimento de pastagens, a fenação e a ensilagem. Todas essas técnicas compartilham a mesma premissa de otimizar a

produção e o armazenamento da forragem no momento oportuno. Notavelmente, a ensilagem é a técnica que melhor combina a maximização do aproveitamento da forragem com custos mais baixos.

A ensilagem é um método de preservação de alimentos destinados à alimentação animal, que envolve a fermentação anaeróbica de forragens, tais como a cana-de-açúcar, o milho, o sorgo, entre outros. Essa prática é amplamente adotada na pecuária devido à sua capacidade de armazenar grandes volumes de alimento de maneira eficaz e economicamente viável (CÂNDIDO et al., 2020). Contudo, a qualidade da silagem está diretamente relacionada às condições de ensilagem. A colheita no momento adequado, a compactação eficiente, a vedação adequada do silo e o controle do teor de umidade são fatores determinantes para obter uma silagem de qualidade (STRAPAZZON, 2022).

Contudo, o teor de matéria seca (MS) desempenha um papel crucial na qualidade da silagem, uma vez que influencia diretamente o valor nutricional do material, que está ligado diretamente com a população de microrganismos presentes. Teores de matéria seca acima do recomendado dificultam a compactação, prejudicando a retirada de oxigênio, atrasando a fase de fermentação anaeróbica. Por outro lado, teores de matéria seca abaixo do ideal propiciam a proliferação de microorganismos indesejados, como os clostrídios (CHECOLI, 2014).

É recomendado que a colheita de forrageiras destinadas à produção de silagem tenha um teor de matéria seca situado na faixa de aproximadamente 30% a 35% e contenha de 6% a 8% de carboidratos solúveis, a fim de promover uma fermentação adequada e prevenir fermentações secundárias indesejáveis (ECHEVERRIA et al., 2017).

No entanto, a cana-de-açúcar madura atende aos teores mínimos de matéria seca, mas ultrapassa os valores ideais de carboidratos solúveis. Uma alta concentração de carboidratos solúveis favorece o crescimento microbiano, especialmente de leveduras, que são responsáveis pela fermentação alcoólica. Esse tipo de fermentação é a principal limitação na produção de silagem de cana, uma vez que converte os açúcares em etanol, CO₂ e água, resultando na deterioração da qualidade da massa ensilada, devido à redução dos carboidratos solúveis e, conseqüentemente, dos componentes da parede celular, o que leva a perdas de matéria seca (SILVA, et al., 2008).

2.4 Padrão fermentativo de silagens

Após o processo de compactação e vedação da massa ensilada, é desejado que a fermentação inicie por bactérias lácticas, consumindo os açúcares solúveis que servem de substrato para a fermentação microbiana, resultando na produção de ácidos orgânicos, como ácido lático e ácido acético. Esses ácidos reduzem o pH da silagem, criando um ambiente inibitório para microrganismos indesejados, como leveduras e bolores (ECHEVERRIA et al., 2017).

O pH é o principal parâmetro fermentativo que deve ser observado, pois este indicam a população de bactérias presentes, que estão sendo responsáveis pela fermentação. A relação de ácidos orgânicos entre os grupos de bactérias ácido lácticas são diferentes, as bactérias homofermentativas produzem mais ácido lático, sendo mais eficientes na manutenção de MS. Em contrapartida, as bactérias heterofermentativas além de ácido lático elas produzem ácido acético, propiônico e butírico, que implicam em uma maior perda da MS (DA SILVA et al., 2017).

No entanto, de acordo com Pedroso et al. (2005), as silagens de cana-de-açúcar exibem uma atividade intensa de leveduras que convertem açúcares em etanol, dióxido de carbono e água, resultando em reduções significativas, de até 70%, no teor de carboidratos solúveis (CHOs). Essa transformação justifica o aumento nos componentes da parede celular e as perdas de matéria seca. Teores de etanol na faixa de 8% a 17% da matéria seca têm sido observados em silagens de cana-de-açúcar sem o uso de aditivos, o que resulta em perdas de aproximadamente 30% da matéria seca durante o processo (PEDROSO et al., 2007).

Para otimizar o padrão fermentativo da silagem de cana-de-açúcar, é necessário recorrer à utilização de aditivos específicos, como inoculantes microbianos e/ou acidificantes. Esses aditivos têm a finalidade de reduzir o pH mais rapidamente, seja por meio da aceleração do processo de fermentação ou pela própria acidificação química do meio através de aditivos acidificantes.

2.5 Aditivos

Seguindo as diretrizes da Instrução Normativa nº 44, datada de 15 de dezembro de 2015, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), os aditivos referem-se a produtos destinados à alimentação animal. Esses aditivos podem ser definidos como substâncias, microrganismos ou produtos formulados que

são intencionalmente adicionados aos produtos, não sendo normalmente utilizados como ingredientes. Eles podem ou não ter valor nutritivo, mas sua finalidade é aprimorar as características dos produtos destinados à alimentação animal ou dos produtos animais, promovendo melhorias no desempenho dos animais saudáveis ou atendendo às necessidades nutricionais (MAPA, 2018).

O volume de pesquisas nas últimas décadas sobre a incorporação de aditivos na produção de silagens tem um aumento significativo, visando a conservação das forragens, tem sido uma tendência significativa (ECHEVERRIA et al., 2017). Uma diversificada gama de substâncias, sejam elas orgânicas ou inorgânicas, bióticas ou abióticas, tem sido objeto de estudo no intuito de modificar o processo fermentativo, mitigar perdas e aprimorar o valor nutricional das silagens (SCHMIDT et al., 2014). Tais produtos, quando adicionados à matéria original durante o processo de ensilagem, objetivam assegurar a qualidade da forragem, proporcionando, por conseguinte, benefícios no desempenho dos animais (ECHEVERRIA et al., 2017).

Conforme especificado no Anexo I da IN 44/2015, os aditivos podem ser categorizados em diversas classes, abrangendo aditivos tecnológicos, sensoriais, nutricionais e zootécnicos, cada um com funções e propriedades específicas.

Segundo Silva et al. (2020) o uso de aditivos tem o intuito de modificar a rota fermentativa primária, conduzida pelas leveduras, que ocorre nas silagens de cana-de-açúcar e reduzir as perdas de valor nutritivo. Para tal, têm sido empregados aditivos químicos e biológicos. Esses aditivos visam inibir a população de leveduras ou bloquear a via fermentativa responsável pela produção de álcool.

2.5.1 Inoculante bacteriano

Os inoculantes bacterianos são classificados como aditivos estimuladores da fermentação. Essa ação se dá por meio da inoculação de culturas bacterianas aumentando a população de tais microorganismos promovendo a queda mais acentuada do pH da silagem (OLIVEIRA, 2011)

Os inoculantes microbianos podem ser compostos por bactérias lácticas homofermentativas, heterofermentativas, ou pela combinação de ambas. Estas bactérias desempenham um papel fundamental ao intensificar o processo de fermentação da ensilagem e/ou ao promover a estabilidade aeróbia das silagens. Isso dificulta o crescimento de microorganismos indesejáveis, resultando na redução das

perdas nutricionais na silagem (STRAPAZZON, 2022).

A inoculação artificial de bactérias homofermentativas, como o *Lactobacillus plantarum*, pode resultar em benefícios, como a redução do pH final, aumento do teor de ácido láctico e diminuição da produção de efluentes, além de minimizar as perdas de matéria seca durante o armazenamento das silagens (PEDROSO et al. 2007). Entretanto, os efeitos sobre a população de leveduras e a estabilidade aeróbia são variáveis.

Em contrapartida, inoculantes que contêm a bactéria heterofermentativa *Lactobacillus buchneri* têm se mostrado eficazes no controle do desenvolvimento de leveduras e no aumento da estabilidade aeróbia das silagens (SCHMIDT et al., 2014). Essa bactéria converte o ácido láctico em ácido acético, 1,2-propanodiol, ácido propiônico, dióxido de carbono e pequenas quantidades de etanol. Esse processo contribui para melhorar a durabilidade e a qualidade das silagens (SIQUEIRA et. al. 2007).

2.5.2 Aditivo químico

Dentre os aditivos químicos, é relevante destacar os acidificantes diretos empregados na ensilagem. Esses aditivos desempenham a função de reduzir o pH da silagem no início do processo, provocando alterações qualitativas na microflora. Para essa finalidade, é viável e mais recomendado a utilização de ácidos orgânicos, ácidos fórmico, sórbico, benzóico, propiônico e acético (Muck et al., 2018).

A acidificação da silagem mediante o uso de aditivos químicos pode proporcionar estabilidade e conservação independentemente da fermentação microbiana. De acordo com Menezes et al. (2023), a acidificação imediata limita a atividade de microrganismos epifíticos, como as leveduras na cana-de-açúcar, resultando na redução do consumo de carboidratos solúveis e, por conseguinte, no aumento da recuperação de matéria seca.

2.6 Estabilidade aeróbica

A estabilidade aeróbica refere-se à capacidade do material ensilado de resistir à elevação do pH por mais tempo, inibindo o crescimento de microrganismos deterioradores. A capacidade de manter um ambiente ácido, com um pH mais baixo,

está diretamente relacionada aos ácidos orgânicos presentes, provenientes dos microrganismos fermentadores. Bactérias ácido lácticas homofermentativas produzem ácido láctico que, por sua vez, tem pH menor que outros ácidos orgânicos (MACÊDO et al., 2017).

Assim, de acordo com Jobim et al. (2007), a avaliação da estabilidade aeróbica da ensilagem se fundamenta na velocidade com que a massa de forragem se degrada após ser exposta ao ar. A deterioração da estabilidade da ensilagem é comumente manifestada pelo aumento da temperatura e pela alteração do pH. O tempo de estabilidade aeróbica pode ser calculado como o número de horas necessário para que a temperatura da silagem aumente 2°C acima da temperatura ambiente, conforme descrito por Kung et al. (2000).

Embora seja inevitável impedir ocorrências de perdas, a aplicação de um manejo apropriado e o entendimento dos efeitos associados à degradação aeróbica do material ensilado tornam-se necessários, para que possamos tomar medidas através da manipulação das bactérias presentes, conseqüentemente dos ácidos. Dessa forma é possível aumentar o tempo de estabilidade da silagem, quando fornecida para a alimentação animal. Logo, a estabilidade do material ensilado é um fator importante para garantir o consumo e o bom desempenho animal.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado na Fazenda Experimental de Rive e no Laboratório de Bromatologia do Departamento de Zootecnia, ambos pertencentes à Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Centro de Ciências Agrárias e Engenharias (CCAEE), campus de Alegre/ES.

A silagem foi confeccionada na Fazenda Experimental, em junho de 2023. A cana-de-açúcar utilizada pertence a Fazenda Experimental, localizada em Rive, distrito de Alegre, as margens da BR482, KM 77. A cana, antes de ser ensilada, apresentou composição bromatológica (Tabela 1) como segue:

Tabela 1. Composição bromatológica da cana-de-açúcar antes da ensilagem.

Parâmetro	Composição
Matéria Seca (%)	28,35
Matéria Mineral (% de MS)	4,77
Proteína Bruta (% de MS)	2,87
Extrato Etéreo (% de MS)	6,66
Fibra Detergente Neutro (% de MS)	58,77
Fibra Detergente Ácido (% de MS)	34,38

O corte da cana foi realizado com o auxílio de roçadeira manual, seguido da picagem no mesmo local, e transportado a sede da fazenda e despejado sobre o solo para posterior ensacamento (Figura 3). Cada tratamento foi separado e em seguida foi feita a pulverização do inoculante com a utilização de bomba manual, e posteriormente os silos foram ensacados com auxílio de ensacadora motorizada.

**Figura 3.** Processo de ensilagem: Descarregamento da cana-de-açúcar picada, Incorporação do aditivo e Ensacamento.

Foram avaliados 4 tratamentos, sendo: Controle (T1), Aditivo químico (T2), inoculante específico para silagem de cana (T3) e inoculante geral para silagens (T4). O inoculante específico tem como composição o *Bacillus subtilis* (mínimo de $8,0 \times 10^9$ UFC/g), *Lactobacillus buchneri* (mínimo de $5,6 \times 10^{10}$ UFC/g) e *Propionibacterium acidipropionici* (mínimo de $1,6 \times 10^{10}$ UFC/g). O inoculante geral tem como composição

o *Enterococcus faecium* (mínimo de 1×10^{10} UFC/g), *Lactobacillus acidophilus* (mínimo de 1×10^{10} UFC/g), *Lactobacillus buchneri* (mínimo de 1×10^{10} UFC/g), *Lactobacillus curvatus* (mínimo de 1×10^{10} UFC/g), *Lactobacillus plantarum* (mínimo de 1×10^{10} UFC/g), *Lactococcus lactis* (mínimo de 1×10^{10} UFC/g), *Propionibacterium acidipropionici* (mínimo de 1×10^{10} UFC/g) e celulase – *Trichodera reesei* (mínimo de 5% e 106 u/g). As recomendações de uso foram seguidas de acordo com as normas do fabricante.

O inoculante químico utilizado, trata-se de uma mistura de 3 ácidos orgânicos, propiônico, benzóico e acético com concentração não disponibilizada pelo fabricante.

Após ensacada, os sacos foram vedados, identificados e pesados para calcular o índice de recuperação de matéria seca. Em seguida, foram empilhados e cobertos por lona, a campo (Figura 4).



Figura 4. Disposição e armazenamentos dos sacos de silagem.

Foram feitos 15 sacos de cada tratamento, sendo abertos 3 sacos em cada um dos 5 períodos avaliados: 7, 14, 30, 45 e 60 dias de ensilado. De cada saco foram coletadas 3 amostras, sendo 2 para matéria seca de imediato e 1 foi congelado para a análise de nitrogênio amoniacal e pH. Posterior análise de matéria seca, as amostras de cada saco foram juntas e trituradas para a realização das análises bromatológicas.

A matéria seca foi obtida de acordo com INCT (2021). A redução do teor

umidade das amostras foi feita em estufa com circulação forçada de ar a 55°C por 72 horas. Posterior a isso, as amostras foram moídas em moinho de faca com peneira de 1mm. A retirada do teor de umidade residual para a obtenção da matéria seca, foi realizada em estufa sem circulação forçada de ar a 105°C por 16 horas (Figura 5).



Figura 5. Análise de matéria seca parcial e definitiva.

A matéria mineral foi obtida através da queima da matéria orgânica em mufla a 550°C. A temperatura foi elevada gradativamente, para evitar a combustão excessiva da amostra. A amostra foi submetida a mufla uma hora a 200°C, 30 minutos a 400°C e 4 horas a 550°C (Figura 6).



Figura 6. Análise de matéria mineral.

A análise de proteína bruta (PB), foi realizada pelo método Kjeldahl de acordo com INCT (2021), onde foi pesada 0,3g do resíduo do saquinho de cada período, e a amostra foi colocada em tubo digestor, juntamente com 2g da mistura catalítica, e 5mL ácido sulfúrico P.A. concentrado. Em seguida os tubos foram alojados em bloco digestor onde foram aquecidos lentamente até atingir a temperatura de 450 °C, temperatura a qual foi mantida até a solução do tubo ficar translúcida. Após a retirada do tubo do bloco digestor, foi adicionado 10mL de água destilada e homogeneizada para evitar a cristalização da solução.

O tubo contendo a solução foi alojado no conjunto digestor, onde para cada tubo continha um Erlenmeyer com 10mL de solução de ácido bórico, além disso em cada tubo digestor foi adicionado aproximadamente 25mL de hidróxido de sódio. O processo de destilação foi feito por arraste, onde o terminal do condensador permanecia mergulhado na solução de ácido bórico para receber a amônia, e esse processo se mantinha até o Erlenmeyer atingir um volume de 100mL.

Após atingir o volume de 100mL o Erlenmeyer foi retirado do conjunto de destilação, para proceder com a titulação com solução de ácido clorídrico, sendo adicionado até a mudança de cor da solução que foi de verde para rosa. E com o volume de ácido clorídrico gasto foi utilizado, calculou-se a Proteína bruta, de acordo com a fórmula preconizada pelo método (Figura 7).



Figura 7. Análise de Proteína Bruta.

O EE foi obtido pela diferença de peso da amostra após a lavagem com éter de

petróleo em aparelho Ankon por 1 hora e meia a 60°C, e posteriormente seca em estufa de circulação de ar forçada a 55°C. Foram analisadas cerca de 1,5 a 2 gramas de amostras, as quais foram colocadas em filtros próprios para a análise, como preconizada pelo manual do aparelho.

A análise de fibra de detergente neutro (FDN) e detergente ácido (FDA), foi feita utilizando o método para fibras utilizando *filter bags*, os quais eram confeccionados em TNT. Esses saquinhos contendo amostras foram colocados na autoclave com a, onde em primeiro momento foi realizado a análise de FDN, que juntamente dos saquinhos foi adicionado solução de detergente neutro, na proporção 100 mL/g de amostra onde a solução foi aquecida a temperatura de 105 °C e mantida por 1 hora. Ao fim do procedimento os saquinhos foram lavados em água destilada aquecida até a retirada da solução de detergente. Em seguida os saquinhos foram colocados em acetona por alguns minutos, após isso foram retirados e colocados em estufa de circulação forçada de ar a 55 °C por 24 horas, e 2 horas em estufa de não ventilada à 105°C. Após esse período foram retirados da estufa e acondicionados em dessecador, para posteriormente seguir com a pesagem para futuros cálculos. Para o cálculo da concentração de fibra foi utilizado a seguinte fórmula de acordo com INCT (2021).

Após a pesagem, os saquinhos voltaram para a autoclave, mas desta vez a solução adicionada foi de detergente ácido para análise de FDA. Todo procedimento do FDN foi repetido, com diferença somente na solução (Figura 8).



Figura 8. Análise de FDN E FDA

A determinação do pH foi em água destilada, coletando aproximadamente 10 gramas de amostra do material ensilado de cada tratamento, o qual é adicionado em

90 mL de água destilada. Após 1 hora, realizou a leitura, de acordo com a metodologia descrita por Bolsen et al. (1992), com potenciômetro (Figura 9).



Figura 9. Leitura do pH.

O nitrogênio amoniacal foi obtido pela trituração das amostras em um almofariz. Foram adicionadas aproximadamente 10 g de amostra fresca de silagem com 60 mL de água destilada (Figura 10). Do macerado aquoso obtido, foi pipetado 10 mL adicionado em tudo e submetido à centrifugação por 20 minutos, a 3.000 r.p.m. Do sobrenadante do centrifugado, foi pipetado 2 mL e transferir para o tubo de ensaio (kjeldahl), e acrescido de 10 ml de KOH 2N, posterior a isto, procedeu-se à destilação em aparelho Micro – Kjeldahl, conforme técnica de proteína bruta, sem neutralizar com NaOH. A titulação foi com H₂SO₄ 0,02 N. Abaixo, encontra-se a fórmula utilizada para a mensuração do NH₃/N.

$$\frac{NH_3}{N} = \frac{V * Fc * 0,00028}{PA} * 100$$

Em que, NH₃/N = nitrogênio amoniacal em %

V = volume de H₂SO₄ gasto na titulação;

FC = fator de correção do H₂SO₄;

0,00028 = equivalente de H₂SO₄ correspondente ao nitrogênio.

PA = peso da amostra seca (g) em 2 mL, calculado pela fórmula:

$$PA = \frac{MS (\%) * (\text{peso da amostra em 2 mL})}{100}$$

Em que, MS = matéria seca definitiva da amostra em %;

Peso da amostra em 2 mL = (peso da amostra fresca (g)/60 mL) x 2 mL.



Figura 10. Processo de maceração da silagem em água destilada para análise de nitrogênio amoniacal.

O índice de recuperação de matéria seca foi mensurado utilizando a fórmula a seguir.

$$RMS = \frac{MFab \times MSab}{MFfe \times MSfe} * 100$$

Em que: RMS = índice de recuperação de matéria seca.

MFab= massa de forragem na abertura

MSab= teor de MS na abertura

MFfe = massa de forragem no fechamento

MSfe = teor de MS da forragem no fechamento

A estabilidade aeróbia foi obtida através da mensuração da temperatura ambiente e temperatura da silagem após a abertura dos sacos, até que a temperatura da silagem ultrapasse 2°C da temperatura ambiente, em horários distintos. Os

resultados foram ajustados para temperatura ambiente de 25° para melhor entendimento (Figura 11).



Figura 10. Aferição da temperatura da silagem após a abertura dos sacos.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, com medidas repetidas no tempo, sendo os sacos de silagem considerados como unidades experimentais. Os dados foram testados para a normalidade dos resíduos através do teste de Shapiro-Wilk, usando o procedimento PROC UNIVARIATE do SAS. E para homogeneidade das variâncias foi usado o procedimento PROC TRANSREG “BOXCOX”. Os dados foram analisados pelo pacote PROC MIXED do programa estatístico SAS (SAS Studio) com significância de 5%.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Tabela 2, está exposto as médias dos períodos de cada tratamento e as médias dos tratamentos em cada período da ensilagem, bem como a interação entre eles. Visto isso, é possível observar que houve diferença para todos os parâmetros entre a médias dos tratamentos e evidentemente a médias dos períodos, uma vez que a fermentação do material ensilado estava decorrendo ao longo do tempo. É possível destacar também que houve interação do período x tratamento em todos os

parâmetros, em alguns períodos específicos ou em todos os períodos (Tabela 2).

Tabela 2. Parâmetros bromatológicos da silagem de cana-de-açúcar submetida a diferentes tratamentos, em diferentes períodos.

TR	Períodos (dias)						EPM	P, valor		
	07	14	30	45	60	Média		TR	TP	TRxTP
Matéria Seca (MS, % da matéria natural)										
T1	22,52B	22,23	21,16 B	21,28	22,19	21,87B	0,1666	0,0052	0,0013	0,0208
T2	24,37A	23,7	24,23 A	22,74	23,83	23,78A				
T3	24,16A	23,31	24,78 A	22,52	21,14	23,18A				
T4	23,1AB	24,06	23,18AB	22,05	22,87	23,05A				
Média	23,54a	23,33a	23,34a	22,14b	22,5a					
Extrato Etéreo (EE, % na MS)										
T1	6,54A	5,37	4,46A	3,13B	5,93A	5,09 A	0,1066	0,0009	<.0001	<.0001
T2	5,04B	5,39	3,85B	4,26A	4,42C	4,59 B				
T3	5,60B	5,32	3,81B	4,31A	4,87B	4,78 B				
T4	3,98C	4,83	4,40A	3,95A	5,05B	4,44 C				
Média	5,29a	5,23a	4,13b	3,91c	5,07ab					
Matéria mineral (MM, % na MS)										
T1	6,97B	6,76B	6,18B	5,80B	6,18C	6,38 B	0,1041	<.0001	<.0001	<.0001
T2	7,86A	7,73A	6,79A	7,02A	8,72A	7,62 A				
T3	7,35AB	6,63B	6,00C	6,02B	7,65B	6,73AB				
T4	6,56B	6,00C	6,13B	7,92A	6,56C	6,63 B				
Média	7,18a	6,78b	6,28c	6,69b	7,28a					
Proteína Bruta (PB, % na MS)										
T1	4,21A	4,10A	3,78A	3,44	3,48	3,80 A	0,0413	<.0001	<.0001	<.0001
T2	3,90A	3,95A	3,48A	3,76	3,62	3,74 A				
T3	3,70B	4,00A	3,37B	3,47	3,25	3,56 B				
T4	3,53B	3,56B	3,03B	3,18	3,68	3,40 C				
Média	3,83a	3,90a	3,42b	3,46b	3,51b					

Médias sem letras não diferem ($P>0,05$); EPM: erro-padrão da média; TR: tratamento; TP período; T1: Tratamento controle; T2: Tratamento com aditivo químico; T3: Tratamento com inoculantes específico; T4: Tratamento com inoculante geral.

Foi constatado diferença na média dos períodos entre os tratamentos sobre o teor de matéria seca dos tratamentos que foram utilizados aditivos, apresentando maiores valores em relação ao tratamento controle ($P<0,05$). Contudo, os tratamentos com aditivos não diferiram entre si ($P>0,05$; Tabela 2). O teor de MS das silagens foi inferior à da cana-de-açúcar *in natura* (Tabela 1), antes da ensilagem. Isto ocorre devido aos microorganismos presentes metabolizar os carboidratos solúveis para sua multiplicação, o que podemos denominar este processo como fermentação

(CÂNDIDO et al., 2020).

A perda de MS é decorrente do processo de evatranspiração que a planta se submete por um período após o corte e devido ao processo de fermentação, as quais além dos ácidos orgânicos, é produzido CO₂ e perdido para o ambiente. Apesar de a produção de ácidos orgânicos, ter como consequência a redução da MS, isto é desejado, uma vez que estes são responsáveis pela conservação do material ensilado (DA SILVA et al. 2011).

Avaliando a interação da MS entre os tratamentos × tempo de abertura nas silagens de 7 e 30 dias de ensilado, foi observado que os tratamentos com aditivo químico e inoculante específicos diferiram do tratamento controle (P<0,05; Tabela 2). O tratamento com inoculante geral, não diferiu entre os tratamentos, no mesmo período (P<0,05). A interação no período de 30 dias de ensilado, pode ser explicada devido ao fato de que o ciclo fermentativo de silagens, que segundo Daniel et al. (2015), se estabiliza entre 21 e 30 dias de ensilado.

Ainda que o metabolismo das bactérias promovam a redução da MS, elas são mais eficientes no consumo de carboidratos solúveis, produzindo menos CO₂. Como descrito, o tratamento controle obteve menor teor de MS, isso porque naturalmente, materiais com alto teor de carboidratos solúveis, favorecem o crescimento da população de leveduras. O metabolismo destas, tem como resultado a produção de álcool etílico, não contribuindo para a redução do pH, e conforme descrito por Muck et al (2001), as leveduras propiciam grande liberação de CO₂, resultando em um processo ineficiente.

O tratamento controle, apresentou na média dos períodos, maior teor de EE (5,09%) que naturalmente apresenta elevada população de levedura. Segundo Briggs et al. (2004), as leveduras que podem ser encontradas em silagens são pertencentes ao grupo das anaeróbias facultativas. Ainda dentro deste grande grupo, há as leveduras respiratórias que catabolizam mais de 70% dos açúcares pela via aeróbia, no processo inicial da ensilagem, quando há O₂ presente e as leveduras fermentativas que catabolizam 90% dos açúcares por processos anaeróbios, quando não há mais a presença de O₂. Ainda na presença de O₂, as leveduras sintetizam esteróis e ácidos graxos insaturados, para que ocorra a divisão celular.

Devido a isto, suponha-se que maiores teores de EE para o tratamento controle tenha relação com o metabolismo de leveduras respiratórias no período inicial de fermentação, quando há oxigênio residual no silo. Em concordância a isto, quando

analisamos a média dos tratamentos nos períodos iniciais de fermentação, é possível observar diferença, com médias superiores, em relação aos demais períodos (Tabela 2).

A matéria mineral também houve efeito significativo entre as médias dos tratamentos, sendo o tratamento com aditivo químico apresentando maior teor de MM, com média de 7,62%, diferenciando dos tratamentos controle e inoculante geral, com menor teor de MM, 6,38 e 6,63, respectivamente ($P < 0,05$; Tabela 2). A silagem de 7 e 60 dias, diferiram da silagem de 14 e 45 dias, que diferiram da silagem de 30 dias ($P < 0,05$).

Os resultados obtidos para matéria mineral apresentaram grande dissipação e inconsistência entre tratamentos e períodos. Suponha-se que tal fato foi devido a grande interferência pela contaminação das amostras com o solo. Como explicitado na metodologia, a cana foi cortada com roçadeira manual e a incorporação dos aditivos e ensacamento da cana picada foi sobre o solo, o que acarretou em maior MM do que previsto na literatura. Na imagem a seguir, é possível observar grãos de areia nas cinzas, após a combustão para obter a MM (Figura 12).



Figura 12. Presença de grãos de areia na cinza.

Para Proteína Bruta, a média dos períodos entre os tratamentos se diferiram, sendo maiores para o tratamento controle (3,8) e 2 (3,74), e menor para o tratamento 4 (3,40). Quando comparadas as médias dos tratamentos em cada período, houve diferença dos períodos de 7 e 14 dias em relação aos períodos de 30, 45 e 60 dias ($P < 0,05$; Tabela 2).

Esperava-se também que o tratamento com inoculantes específicos tivesse maiores valores para a média entre os períodos, pois acredita-se que para a silagem de cana, a bactéria tem maior efetividade de fermentação, conservando o valor nutritivo, bem como a proteína. Porém, este fato não foi comprovado.

Henderson (1993), afirma que os carboidratos solúveis são os principais substratos para bactérias lácticas durante o processo de fermentação. Contudo, segundo o mesmo, substâncias como proteínas, aminoácidos, ácidos orgânicos e hemiceluloses também podem servir como fontes alternativas de substratos para a fermentação em silagens. Diante disso, podemos supor que a redução do teor de PB das silagens inoculadas, se deve ao consumo de proteínas e/ou aminoácidos como alternativa, frente a elevada população de bactérias que consumiram a maior parte dos carboidratos solúveis.

Isso pode ser comprovado quando observamos os períodos que houve interação do tempo e tratamento. É notado que o teor de PB para o tratamento com inoculante específico, começa a declinar significativamente, comparado aos outros tratamentos, no período da silagem de 30 dias, período este, posterior ao pico de fermentação. Porém, quando comparado a média dos períodos entre os tratamentos, esse resultado vai de encontro com os resultados obtidos para NH_3 (Tabela 4), consequência da proteólise, que apresentou menores valores para o uso de inoculante específico.

Valores maiores de PB na média dos períodos iniciais, podem ser atribuídos ao fato de que, durante este período, o consumo de carboidratos solúveis é intenso pelos microorganismos presentes no meio, dessa forma, a relação de PB é aumentada, quando comparada ao teor do material antes de ser ensilado (Tabela 1) e permanece até que a fermentação se estabilize, cerca de 21 a 30 dias.

Após o pico de fermentação, quando valores de carboidratos solúveis são reduzidos drasticamente, e tem-se grande quantidade de ácidos orgânicos, o teor de proteína tende a ser reduzido. Segundo McDonald et al. (1991), este comportamento está relacionado ao fato de, pela redução da disponibilidade de substrato principal, carboidratos solúveis, os microorganismos presentes na silagem tendem a utilizar proteínas, aminoácidos, ácido lático e carboidratos fibrosos como substrato para garantir a sobrevivência.

Os teores de carboidratos fibrosos expressos por fibra em detergente neutro e fibra em detergente ácido (Tabela 3), não apresentaram diferença significativa na

média dos períodos, entre os tratamentos. É possível observar um aumento da fibra nos períodos de 7 e 14, quando comparamos com a cana *in natura*, antes de ser ensilada. Este evento pode ser atribuído à grande perda de MS, em razão do consumo de carboidratos solúveis, dessa forma, em valores relativos, houve esse aumento. A partir do período da silagem de 30 dias, esses valores aumentaram, se mantiveram relativamente constantes até o período de 60 dias.

Tabela 3. Carboidratos fibrosos da silagem de cana-de-açúcar submetida a diferentes tratamentos, em diferentes períodos.

TR	Períodos (dias)						EPM	P, valor		
	07	14	30	45	60	Média		TR	TP	TRxTP
Fibra Detergente Neutro (FDN, % na MS)										
T1	75,29A	73,41	78,05	76,47BC	77,43	76,13	0,2490	0,1084	<.0001	<.0001
T2	73,78AB	75,56	76,30	75,34C	77,81	75,76				
T3	71,74B	73,08	75,82	78,21AB	75,81	74,94				
T4	73,00AB	74,77	76,74	77,80BC	75,44	75,55				
Média	73,45b	74,21b	76,73a	76,96a	76,62a					
Fibra Detergente Ácido (FDA, % na MS)										
T1	44,20	42,92B	47,71	46,62B	48,29	45,95	0,5814	0,3066	<.0001	<.0001
T2	44,51	45,89AB	47,89	46,82B	48,59	46,74				
T3	44,78	44,86AB	48,09	48,59AB	47,75	46,81				
T4	33,75	46,05A	47,97	49,75A	45,45	44,60				
Média	41,81b	44,93ab	47,91a	47,95a	47,52a					

Médias sem letras não diferem ($P>0,05$); EPM: erro-padrão da média; TR: tratamento; TP período; T1: Tratamento controle; T2: Tratamento com aditivo químico; T3: Tratamento com inoculantes específico; T4: Tratamento com inoculante geral.

Era esperado que os valores de FDN e FDA fossem maiores para o tratamento controle devido ao menor índice de recuperação de matéria seca, como mostra a Tabela 4. Esses valores são inversamente proporcionais, pois os microorganismos presentes na silagem tem aptidão para utilizar em seus metabolismos, os carboidratos solúveis como substrato, não apresentando capacidade evidente para a degradação de FDN.

Os parâmetros fermentativos, que traduzem os efeitos da fermentação, apresentaram interação significativa somente para pH e RMS ($P<0,05$; Tabela 4).

Tabela 4. Parâmetros fermentativos das silagens.

TR	Períodos (dias)						EPM	P, valor		
	07	14	30	45	60	Média		TR	TP	TRxTP
Potencial Hidrogeniônico (pH)										
T1	3,40	3,53 A	3,37	3,37	3,37	3,41	0,0135	0,1008	<.0001	0,0208
T2	3,17	3,43AB	3,40	3,40	3,37	3,35				
T3	3,20	3,33 B	3,37	3,40	3,40	3,34				
T4	3,13	3,37AB	3,33	3,37	3,37	3,31				
Média	3,23 b	3,42 a	3,37 a	3,38 a	3,38 a					
Nitrogênio Amôniacal (N-HN ₃)										
T1	5,71	3,79	3,25	5,75	6,30	4,96 A	0,1915	0,0467	0,0066	0,1049
T2	5,11	3,73	4,23	3,70	5,00	4,35 AB				
T3	4,47	2,48	4,96	3,43	4,52	3,97 B				
T4	5,55	3,12	6,95	4,57	4,81	5,00 A				
Média	5,21	3,28	4,85	4,36	5,16					
Índice de Recuperação de Matéria Seca (RMS)										
T1	79,07	76,70	71,92 B	73,65	76,66AB	75,60 B	0,6209	0,0157	<.0001	0,0221
T2	85,24	81,20	81,49AB	78,54	81,00 A	81,50 A				
T3	85,26	80,47	84,57 A	78,08	71,55 B	79,99 A				
T4	80,78	82,89	76,98AB	75,63	77,98AB	78,85AB				
Média	82,59 a	80,32 a	78,74ab	76,48 b	76,80 b					

Médias sem letras não diferem ($P > 0,05$); EPM: erro-padrão da média; TR: tratamento; TP período; T1: Tratamento controle; T2: Tratamento com aditivo químico; T3: Tratamento com inoculantes específico; T4: Tratamento com inoculante geral.

Houve interação entre os inoculantes testados e os períodos de fermentação ($P > 0,05$) para a variável pH da silagem, apenas na silagem de 14 dias, onde o tratamento controle e o tratamento com inoculantes específicos se diferenciam. Além desta diferença, houve diferença entre os períodos de fermentação ($P < 0,05$). Considerando a média dos tratamentos, valores mais baixos de pH foram medidos nos 7 dias de fermentação para todas as silagens, com média de 3,23.

Schmidt et al. (2007) enfatizam que o pH não constitui um ponto crítico em silagens de cana-de-açúcar, tampouco serve como indicador de sucesso na fermentação, que desejamos. Isso se justifica pela constatação de que a produção de etanol, facilitada por leveduras, persiste mesmo em condições de pH abaixo de 3,5, conforme evidenciado por McDonald et al. (1991). O que de fato influencia na conservação do material ensilado é a presença de diferentes ácidos orgânicos, sendo os principais lático e acético, que de forma associativa, apresentam efeito inibitório do crescimento de microrganismos deterioradores.

Para nitrogênio amoniacal, houve diferença significativa entre os tratamentos, onde os tratamentos controles e inoculante geral, apresentaram 4,96% e 5,0% respectivamente, diferindo do inoculante específico, que apresentou 3,97%, enquanto tratamento com aditivo químico não diferiu entre os demais tratamentos (Tabela 4).

Esse resultado era esperado, pois sem aditivo (tratamento controle) não há nenhuma barreira que possa impedir ou competir para inibir a proliferação de microorganismos indesejáveis, principalmente os clostrídios, que apresentam grande capacidade proteolítica. Contudo, a deterioração de proteínas tem como resultado aumento no teor de NH_3 .

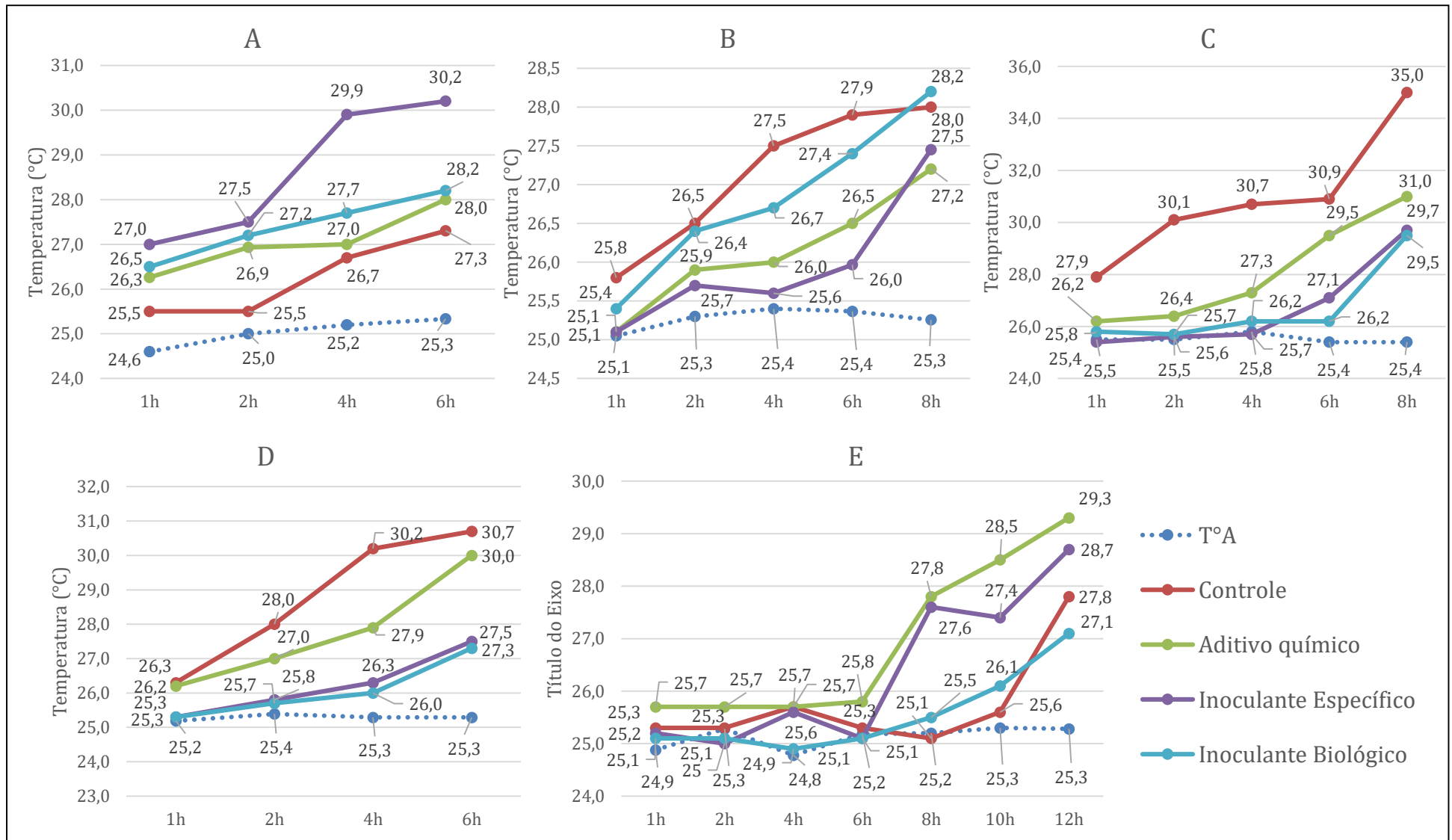
No mesmo sentido, pode-se atribuir como causa os maiores valores de NH_3 ao inoculante geral devido ao fato de que, em sua composição, há bactérias homofermentativas majoritariamente. Esses grupos de bactérias, não apresenta habilidade de se multiplicar em ambientes desafiadores, com parâmetros que não são ideais, dessa forma, torna o ambiente menos competitivo, dando espaço para outros microrganismos indesejáveis, que apresentam capacidade proteolítica.

O inoculante específico conta em sua composição, com bactérias heterofermentativas facultativas, que obtém uma gama maior de substratos que podem ser utilizados para o seu metabolismo e bactérias que são aeróbias facultativas, que consome o O_2 residual do silos, favorecendo o desenvolvimento do *Lactobacillus buchneri* que é desejado na fermentação. A eficiência dos ácidos orgânicos pode ser atribuída a sua capacidade imediata de acidificar o meio, impedindo a colonização dos clostrídios que são menos tolerantes ao pH (TOMICH et al., 2003).

O índice de Recuperação de Matéria Seca (RMS), diferiu para os tratamentos, quando comparado a média entre os períodos ($P < 0,05$; Tabela 4). O aditivo químico e o inoculantes específicos se diferenciam do tratamento controle ($P < 0,05$), enquanto o inoculante geral, não se diferenciou entre os outros tratamentos ($P > 0,05$).

Maiores valores de RMS para inoculante específico eram esperados, pois segundo Siqueira et al. (2011), os *Lactobacillus buchneri* são eficientes na produção de ácido acético. O ácido acético na presença de ácido láctico, se dissocia, tornando impermeável à membrana de microrganismos inibindo o crescimento de leveduras, que são as principais responsáveis por perdas na silagem de cana.

A seguir, é possível visualizar a diferença de cada tratamento, em cada período de abertura da silagem (Figura 13). Os gráficos mostram o tempo em horas que demorou para que cada tratamento atingisse 2°C , acima da temperatura ambiente.



Figuras 12. Avaliação da estabilidade aeróbica através da temperatura em função do tempo com 7 dias de ensilado (A), 14 dias de ensilado (E), 30 dias de ensilado (B), 45 dias de ensilado (C) e 60 dias de ensilado (D).

Através dos gráficos apresentados na figura 12, é possível observar grande variação de estabilidade entre os períodos de abertura da silagem, onde a maior estabilidade entre a média dos tratamentos, foi observada no período de 14 dias do material ensilado e a menor estabilidade com 7 e 60 dias (Figura 12). Esperava-se que com o avançar da fermentação, os produtos provenientes desta aumentassem o tempo de estabilidade, o que não foi possível de ser observado no presente experimento.

A estabilidade aeróbica é impactada por diversos fatores ambientais, nas quais podem ter influenciado sobre o resultado. Segundo Jobim et al. 2007, os fatores que mais afetam a estabilidade são: a temperatura, teor de carboidratos solúveis, a concentração de fungos e leveduras e ácidos orgânicos em interação com o pH. Temperaturas próximas de 30°C, favorecem o desenvolvimento de fungos, maior produção de CO₂ e aumento do pH, fatores estes que diminuem a estabilidade da silagem (ASHBELL et al., 2002).

Ao comparar a média do tempo necessário para elevar a temperatura da massa exposta em 2 C°, em horas entre os períodos, foi possível observar que entre os tratamentos, aqueles na qual foram utilizados inoculantes tiveram média superior ao tratamento com aditivo químico e tratamento controle. Essa maior estabilidade para os inoculantes foi possível de ser vista, a partir de 45 dias de ensilado. Portanto, podemos presumir que os enoculantes apresentam efeitos benéficos a estabilidade aeróbica, a partir de 45 dias de ensilado.

Este resultado era esperado devido aos efeitos do ácido acético produzidos pelos *Lactobacillus buchneri*. O ácido acético é mais fraco, e apresenta pKa 4,75. Portanto, em silagens, onde o pH é inferior ao seu, esse ácido se apresenta na forma não dissociada o que faz com que ele seja permeável a membrana de microorganismos patogênicos. Dessa forma, ao entrar para o interior destas células, onde o pH está mais alto, ele se dissocia desregulando o equilíbrio homeostático das células (DAVIDSON et. al, 1997).

5. CONCLUSÃO

A utilização de aditivos, seja químico ou biológico traz efeitos positivos para a ensilagem de cana-de-açúcar. Porém estes efeitos não são unânimes entre todos os parâmetros analisados.

O aditivo químico apresentou melhores resultados para Matéria Seca (23,78%), Proteína Bruta (3,74%) e Recuperação de Matéria Seca (81,50%).

O inoculante específico apresentou melhores resultados para Matéria Seca (23,18%), Nitrogênio amoniacal (3,97%), Recuperação de Matéria Seca (79,99%) e Estabilidade Aeróbica.

O inoculante geral apresentou melhores resultados para Matéria Seca (23,05%) e Estabilidade Aeróbica.

De forma geral, o aditivo químico e o inoculante específico apresentaram melhores benefícios para a silagem de cana-de-açúcar.

6. REFERÊNCIAS

- ASHBELL, G.; WEINBERG, Z. G.; HEN, Y.; FILYA, I. 2002. The effects of temperature on the aerobic stability of wheat and corn silages. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology* 28: 261-263
- BRIGGS, D. E.; BOULTON, C. A.; BROOKES, P. A.; STEVENS, A. Metabolism of wort by yeast. In: BRIGGS, D. E.; BOULTON, C. A.; BROOKES, P. A.; STEVENS, A. *Brewing: science and practice*. Cambridge: Woodhead Publishing, 2004. cap. 12, p. 401-468.
- CÂNDIDO, Magno José Duarte; FURTADO, Rafael Nogueira. *Estoque de forragem para a seca: produção e utilização da silagem*. 2020.
- CÂNDIDO, Magno José Duarte; FURTADO, Rafael Nogueira. *IMPORTÂNCIA DA ENSILAGEM NOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO ANIMAL NOS TRÓPICOS*. In: CÂNDIDO, Magno José Duarte; FURTADO, Rafael Nogueira. *Estoque de forragem para a seca*. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2020. p. 11-15.
- CAREGNATO, Nakali Evelize et al. Fermentação e composição bromatológica da silagem de cana-de-açúcar inoculada com *Lactobacillus buchneri*, associada ou não à adição de fontes de carboidratos. *Ciência Animal Brasileira*, v. 20, p. e50390, 2019.
- CASTRO NETO, A. G. et al. Parâmetros de fermentação de silagens de cana-de-açúcar submetidas a diferentes tratamentos. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v. 60, p. 1150-1156, 2008.
- CHECOLI, M. B. *Silagens de cana-de-açúcar tratadas com Lactobacillus kefir L. brevis: Efeitos no perfil fermentativo e na estabilidade aeróbia*. 2014. 35f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Animais Domésticos; Nutrição e Alimentação Animal; Pastagens e Forragicultura). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2014.
- DA SILVA, Thiago Carvalho, et al. Papel da fermentação láctica na produção de silagem. *Pubvet*, 2011, 5: Art. 992-998.
- DA SILVA, Vanderli Luciano, et al. Cana energia e produção de silagem como estratégia para alimentação animal. *Veterinária e Zootecnia*, 2020, 27: 1-13.
- DANIEL, J.L.P. ; NUSSIO, L. G. . Altos teores de energia e rendimento tornam milho

mais usado para silagem. *Visão Agrícola*, Piracicaba - SP, p. 141 - 145, 01 jul. 2015.

DAVIDSON, P.M. Chemical preservatives and natural antimicrobial compounds. In: DOYLE, M.P.; BEUCHAT, L.R.; MONTEVILLE, T.J. (Ed.). *Food microbiology: fundamentals and frontiers*. Washington: ASM Press, 1997. p. 520-556.

DE ASSIS, João Rafael. *Influência da época do ano no valor nutritivo das forragens consumidas por bovinos de corte criados a pasto*. 2021.

DE PAULA, Talita Almeida. *Produção de silagem: aspectos agronômicos e valor nutricional em regiões semiáridas-revisão sistemática*. *Arquivos do Mudi*, v. 25, n. 2, p. 127-154, 2021.

ECHEVERRIA, D. M. S. ; DIAS, A.M. ; SOUZA, A. R. D. L. ; JUNGES, L. ; GOMES, E. N. O. ; MONTAGNA, C. D. ; PITZSCHK, N. R. ; GOMES, J. V. O. . Aditivos na ensilagem de cana-de-açúcar. In: X MOSTRA CIENTÍFICA FAMEZ, 2017, Campo Grande-MS. X MOSTRA CIENTÍFICA FAMEZ. Campo Grande-MS: FAMEZ, 2017. v1.

EDUARDO, H. B. K. M.; MÁRIO, F. P.; SEBASTIÃO, C. V. F.; MORAES, K. A. A.; DETMANN, E.; SOUZA, M. G. Avaliação nutricional de estratégias de suplementação para bovinos de corte durante a estação da seca. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 39, n. 3, p. 608-616, 2010.

HENDERSON, N. Silage additives. *Animal Feed Science and Technology*, v.45, n.1, p.35-56, 1993.

IBGE. Rebanho bovino (Bois e vacas) Disponível em: <https://atlas escolar.ibge.gov.br/images/atlas/mapas_brasil/brasil_clima.pdf>.

Acesso em: *dezembro*, 2023.

ITAVO, Luis Carlos Vinhas et al. Composição química e parâmetros fermentativos de silagens de capim-elefante e cana-de-açúcar tratados com aditivos. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal* , v. 3, pág. 606-617, 2010.

JOBIM, C.C.; NUSSIO, L.G.; REIS, R.A.; SCHMIDT, P. 2007. Avanços metodológicos na avaliação da qualidade da forragem conservada. *Revista Brasileira de Zootecnia* 36:101-119.

KUNG Jr., L.; ROBINSON, J. R.; RANJIT, N. K.; CHEN, J. H. ; GOLT, C. M. ; PESEK,

J. D. Microbial populations, fermentation end products, and aerobic stability of corn silage treated with ammonia or a propionic acid-based preservative. *Journal of Dairy Science*, v. 83, p. 1479-1486, 2000.

MACÊDO, Alberto Jefferson da Silva, et al. Microbiologia de silagens: Revisão de Literatura. *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*, 2017, 18.9: 1-11.

McDONALD, P.J.; HENDERSON, A.R.; HERON, S.J.E. The biochemistry of silage. 2.ed. Mallow: Chalcombe Publications, 1991. 340p.

MENEZES, Guilherme Lobato et al. Eficácia de aditivos químicos e microbianos em silagem de gramíneas e avaliação de modelos de predição de consumo de matéria seca para bovinos de corte. 2023.

Ministério da Agricultura e Pecuária. INSTRUÇÃO NORMATIVA SDA MAPA N° 44 DE 15 12 2015.pdf. 2018. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/ptbr/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-pecuarios/produtosveterinarios/legislacao-1/instrucoes-normativas/instrucao-normativa-sda-mapa-ndeg44-de-15-12-2015.pdf/view>. Acesso em: 28 Nov. 2023.

MOUSQUER, Claudio Jonasson, et al. Potencial de utilização de silagem de gramíneas tropicais não convencionais e cana-de-açúcar. *Pubvet*, 2013, 7: 2189-2326.

Muck RE, Shinnis KJ. Conserved Forages (Silage and Hay): Progress and Proprieties. In: *Internacional Grassland Congress. Proceedings...*Piracicaba: Brazilian Society of Animal Husbandry. 2001; p. 753-762.

MUCK, Richard E. Microbiologia da silagem e seu controle através de aditivos. *Revista Brasileira de Zootecnia* , 2010, 39:183-191.

NACHILUK, K. Alta na Produção e Exportações de Açúcar Marcam a Safra 2020/21 de Cana. *Análises e Indicadores do Agronegócio*, São Paulo, v. 16, n. 6, jun. 2021, p. 1-5. Disponível em: <http://www.iea.sp.gov.br/out/TerTexto.php?codTexto=15925>. Acesso em: 03 de Novembro de 2023.

OLIVEIRA, Marcos Rogério, et al. Uso de aditivos biológicos na ensilagem de forrageiras Use of biological additive in ensiling of forage. *Ambiência*, 2011, 7.3: 589-601.

PAULA, Paulo Ricardo Pereira et al. Composição bromatológica da silagem de capimelefante BRS Capiacu com inclusão fubá de milho. *Pubvet*, v. 14, n. 10, p. 1-11, out. 2020.

PEDROSO, André de Faria et al. Efeito do tratamento com aditivos químicos e inoculantes bacterianos nas perdas e na qualidade de silagens de cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 36, p. 558-564, 2007.

PEREIRA, Djalma Silva, et al. Vantagens e desafios da ensilagem de cana-de-açúcar. *Pesquisa em Agroecologia: conquistas e perspectivas*, p.174, 2019.

REIS, Ricardo Andrade; MOREIRA, Andréia Luciane. Conservação de forragem como estratégia para otimizar o manejo das pastagens. *FCAV/UNESP, Jaboticabal. Disponível em:< <http://www.fcav.unesp.br/>>, Acesso em: dezembro, 2023.*

RIBEIRO, L.S.O.; PIRES, A.J.V.; CARVALHO, G.G.P. et al. Composição química e perdas fermentativas de silagem de cana-de-açúcar tratada com uréia ou hidróxido de sódio. *R. Bras. Zootec.*, v.39, n.9, p.1911-1918, 2010.

SCHMIDT, P.; SOUZA, C. M.; BACH, B. C. Uso estratégico de aditivos em silagens: Quando e como usar? In: JOBIM, C.C.; CECATO, U.; CANTO, M.W.; BANKUTI, F.I (eds.). *SIMPÓSIO: PRODUÇÃO E UTILIZAÇÃO DE FORRAGENS CONSERVADAS*, 5.ed., Maringá, 2014. Anais... Maringá: UEM, 2014. p.243-264.

SILVA NETO, J. F.; SOUZA, R. F. L.; LIMA, A. C. C. P. Uso de inoculantes microbianos na ensilagem: Revisão de literatura. In: *SEMINÁRIO DE BIOCONTROLE 2020*. Universidade Federal Rural de Pernambuco. 2020 p. 1-4. IPA/UFRPE. SBC – 2020.

SILVA, Estela Jorge Alves da et al. Efeitos do teor de carboidratos solúveis sobre as características da silagem de cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 37, p. 1375-1382, 2008.

SIQUEIRA, G.R. et al. Perdas de silagens de cana-de-açúcar tratadas com aditivos químicos e bacterianos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.36, n.6, p.2000-2009, 2007 (supl.).

SIQUEIRA, Gustavo Rezende et al. Queima e aditivos químicos e bacterianos na ensilagem de cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 39, p. 103-112,

2010.

SIQUEIRA, Gustavo Rezende, et al. Óxido de cálcio e *Lactobacillus buchneri* NCIMB 40788 na ensilagem de cana-de-açúcar in natura ou queimada. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 2011, 40: 2347-2358.

STRAPAZZON, Alexandro. *Silagem de cana-de-açúcar: revisão de literatura*. 2022.

TOMICH, Thierry Ribeiro, et al. Características químicas para avaliação do processo fermentativo de silagens: uma proposta para qualificação da fermentação. 2003.

ANEXO A – VARIAÇÕES DE CLIMAS DO BRASIL.

Clima



Legenda

Quente (média > 18° C em todos os meses do ano)

- Superúmido sem seca/subseca
- Úmido com 1 a 3 meses secos
- Semi-úmido com 4 a 5 meses secos
- Semi-árido com 6 a 8 meses secos
- Semi-árido com 9 a 11 meses secos

Subquente (média entre 15° C e 18° C em pelo menos 1 mês)

- Superúmido sem seca/subseca
- Úmido com 1 a 3 meses secos
- Semi-úmido com 4 a 5 meses secos

Mesotérmico Brando (média entre 10° C e 15° C)

- Superúmido sem seca/subseca
- Úmido com 1 a 3 meses secos
- Semi-úmido com 4 a 5 meses secos

Mesotérmico Mediano (média < 10° C)

- Úmido com 1 a 3 meses secos

Climas zonais



- Equatorial
- Tropical Zona Equatorial
- Tropical Nordeste Oriental
- Tropical Brasil Central
- Temperado

0800 721 8181

Fonte: Mapa de clima do Brasil. Rio de Janeiro: IBGE, 2002. 1 mapa. Escala 1:5 000 000. Disponível em: <http://mapas.ibge.gov.br/tematicos.html>. Acesso em: abr. 2016.