



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

GUILHERME MEDEIROS LEITE

FARELO DE MAMONA DETOXIFICADO COMO ADITIVO PROTEICO NA
ENSILAGEM DE CANA-DE-AÇÚCAR

AREIA

2022

GUILHERME MEDEIROS LEITE

**FARELO DE MAMONA DETOXIFICADO COMO ADITIVO PROTEICO NA
ENSILAGEM DE CANA-DE-AÇÚCAR**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, da Universidade Federal da Paraíba, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Zootecnia.

Área de Concentração: Produção Animal

Linha de Pesquisa: Avaliação da produção, manejo e conservação de forrageiras nativas e cultivadas

Comitê de orientação:

Orientador: Prof. Dr. Edson Mauro Santos – UFPB

Coorientadores: Prof^ª. Dr^ª Juliana Silva de Oliveira – UFPB

Prof. Dr. Anderson de Moura Zanine – UFMA

AREIA

2022

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

L533f Leite, Guilherme Medeiros.

Farelo de mamona detoxificado como aditivo proteico na ensilagem de cana-de-açúcar / Guilherme Medeiros Leite. - Areia:UFPB/CCA, 2022.

46 f.

Orientação: Edson Mauro Santos.

Coorientação: Juliana Silva de Oliveira, Anderson de Moura Zanine.

Dissertação (Mestrado) - UFPB/CCA.

1. Zootecnia. 2. Aditivo absorvente. 3. Conservação. 4. Estabilidade aeróbia. 5. Populações microbianas. 6. Saccharum officinarum. I. Santos, Edson Mauro. II. Oliveira, Juliana Silva de. III. Zanine, Anderson de Moura. IV. Título.

UFPB/BS/CCA

CDU 636(043.3)



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA**

PARECER DE DEFESA DO TRABALHO DE DISSERTAÇÃO

TÍTULO: “FARELO DE MAMONA DETOXIFICADO COMO ADITIVO PROTEICO NA ENSILAGEM DE CANA-DE-AÇÚCAR”

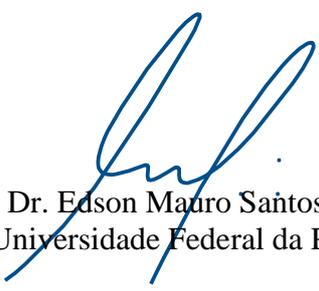
AUTOR: Guilherme Medeiros Leite

ORIENTADOR: Edson Mauro Santos

J U L G A M E N T O

CONCEITO: APROVADO

EXAMINADORES:


Prof. Dr. Edson Mauro Santos Presidente
Universidade Federal da Paraíba


Prof. Dr. Ricardo Loiola Edvan
Examinador Universidade Federal do Piauí


Profa. Dra. Ana Paula Maia dos Santos Examinadora
Universidade Estadual de Alagoas

Areia, 06 de agosto de 2021.

DEDICATÓRIA

Primeiramente, à Deus e a Nossa Senhora do Perpétuo Socorro, por sempre iluminarem meu caminho, permitindo que eu chegasse até aqui.

Dedico a minha família, em especial a minha mãe, Maria Gilvaneide Medeiros Leite, por incentivar e acreditar em mim, mesmo quando eu achei que não seria capaz. Tudo que sou e conquistei até aqui, foi, é e será por você, sempre!

AGRADECIMENTOS

À Deus, pelo dom da vida e por me permitir chegar até aqui. À Nossa Senhora do Perpétuo Socorro por sempre ser minha guia, minha luz, minha protetora, ser meu chão e me dar sabedoria e discernimento para enfrentar as batalhas da vida, e não me deixar abalar apesar de todas as dificuldades enfrentadas.

Agradeço a minha família, meu pai José Leite dos Santos Filho, minha mãe Maria Gilvaneide Medeiros Leite e meu irmão Clemer José Medeiros Leite, por sempre me apoiarem. Em especial, agradeço a minha mãe, por sempre me incentivar, acreditar em mim, e mesmo sem conseguir me dar o mundo, me deu ao mundo para correr atrás das minhas conquistas. Tudo que fiz até aqui, e que ainda farei, é por nós, e sempre será, até o fim das minhas forças e da minha vida. Obrigado por ser minha maior fã, e acreditar sempre que sou capaz. Te amo incondicionalmente, mainha! Em nome da minha avó Maria da Paz Nóbrega e do meu tio Ednaldo Nóbrega Leite, agradeço à minha família paterna. Em nome das minhas tias Maria Gilvanete Medeiros de Assis e Suzana de Medeiros Silva e Araújo, e do meu primo Virgílio Medeiros Neres de Sousa, agradeço a minha família materna.

Ao meu orientador, Professor Edson Mauro Santos, e a minha coorientadora Professora Juliana Silva de Oliveira, gratidão por abrirem as portas do conhecimento e me acolherem como “filho” acadêmico de vocês. Sou e serei imensamente grato por todo tempo vivenciado ao lado de vocês, e por todos os ensinamentos e oportunidades que me deram. São exemplos de seres humanos e profissionais, os quais me espelho profissionalmente desde a graduação, e espero conseguir ser pelo menos um pouco parecido com ambos. Gratidão!

Ao Grupo de Estudos em Forragicultura (GEF), agradeço imensamente por toda a colaboração na condução do meu experimento. Conduzir um experimento durante uma pandemia não é nada fácil, porém, a colaboração do grupo permitiu concluir todas as etapas. A todos vocês, meu muito obrigado pela ajuda, convivência, horas de trabalho e de diversão, por que nós somos muito além de um grupo de estudos.

À minha mídia preferida, que levarei para sempre comigo agradeço todas as brincadeiras, reuniões e trabalho: Yohana Rosaly Corrêa, Mikaelle de Sousa Dutra e Maria Alyne Coutinho Santos. Nós somos o próprio exemplo que a união faz a força!

Aos meus colegas de turma, agradeço por ter conhecido vocês e compartilhar essa fase da minha vida ao lado de vocês: Lafla Fionally Almeida de Oliveira, Gilberto de Carvalho

Sobral, Antoniel Florêncio da Cruz e Marileide de Souza Sá. Desejo sucesso na caminhada de cada um de vocês!

Aos meus amigos/companheiros de casa: Danillo Marte Pereira, Yasmim Silva dos Santos Marte, Francisco Silva Pereira Marte, Francisco Naysson de Sousa Santos, Thiago de Assis Moraes e Angélica Almeida e Silva. Obrigado por sempre me ajudarem, em todos os sentidos, desde a graduação, até aqui. Obrigado por serem como uma família, não é fácil viver quilômetros longe de casa, e aqui, vocês eram como uma família pra mim. Agradeço de forma especial, à Danillo e Naysson, por segurarem na minha mão, e serem meus maiores incentivadores.

Ao meu grupo fixo, Camilla de Oliveira Montenegro e Laisy Emília Meireles Fialho, por todas as alegrias compartilhadas, cada pizza e briga no nosso grupo fixo. Agradeço de forma carinhosa a Laisy, que nos últimos meses, além de minha amiga, é minha companheira de moradia, nosso querido ap 202.

Iva Carla de Barros Ayres e Liliane Pereira Santana, sou imensamente grato por ter vocês comigo. Vocês são pessoas incríveis que conheci e quero levar pra vida! Nosso clã, muito além de um grupo de WhatsApp.

Aos meus amigos que fiz em Areia e me acompanharam nessa jornada, sou imensamente feliz por ter vocês e poder contar com cada um, acredito que a convivência permite “plantar” uma sementinha de cada um dentro de nós, sementinha essa que regarei e cuidarei bem, logo eu, tenho que cuidar bem né? Logo da forragicultura, não tem nem como não saber cuidar. Obrigado a todos vocês: Paloma Gabriela Batista Gomes, Bruna Thalia Silveira Sabino, Maria Clara de Medeiros Oliveira, Jonas Rodrigues, Mariana Dias, Eduardo Dias, Rafael Lopes Soares, Diego de Sousa Vieira, Eloyza França, Joakson Alves, Evandra da Silva Justino, Jakeline Florêncio, Renan Nogueira, Luana Araújo de Medeiros, Gabriela Gonçalves Soriano, Aurora Fidelis Soriano Garcia, Gabriela Andrade Cavalcanti, Júlia de Araújo Lima Leitão, Maria Evelaine Lucena, e aos demais, que peço perdão por não incluir aqui, mas sintam-se agradecidos da mesma forma!

Aos meus amigos de Ipueira, por cada abraço receptivo que recebi sempre que retornava para a terrinha, vocês também fazem parte dessa história: Ana Luiza Lima de Araújo, Gabriela Garcia de Medeiros Araújo, Lícia Lins Lima, Lucas Marinho, Heitor Araújo Nobrega, Raimundo Nunes Xavier Neto, Monaíra Medeiros, Celina Medeiros, Maysa Matarazzo, Estefânia Priscila, Maria Natália, Laura Cristina de Araújo Dantas, Rayane Paiva, Vivian Alencar, Canígia Galvão e aos demais que agradeço no nome de Dayanne Fernanda de Medeiros (*in memoriam*).

Por fim, e não menos importante, agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, e a todos os professores e funcionários!

“Aqueles que semeiam com lágrimas, com cantos de alegria colherão” (Salmos 126:5)

BIOGRAFIA DO AUTOR

Guilherme Medeiros Leite, primeiro filho do casal José Leite dos Santos Filho e Maria Gilvaneide Medeiros Leite, irmão de Clemer José Medeiros Leite, nascido em 09 de dezembro de 1996, na cidade de Caicó, Rio Grande do Norte, Brasil.

Sendo estudante de ensino público durante o ensino fundamental e médio, foi aluno da Escola Municipal Francisco Quinino de Medeiros e Escola Estadual João Alencar de Medeiros, respectivamente, na cidade de Ipueira, Rio Grande do Norte, concluindo o ensino médio em 2014.

Ingressou no curso de Zootecnia em março de 2015, pela Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências Agrárias, Campus II, Areia-PB, concluindo o curso de ensino superior em fevereiro de 2020.

Em março de 2020, iniciou o Mestrado pelo Programa de Pós-Graduação em Zootecnia (PPGZ), Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências Agrárias, Campus II, Areia-PB.

FARELO DE MAMONA DETOXIFICADO COMO ADITIVO PROTEICO NA ENSILAGEM DE CANA-DE-AÇÚCAR

Objetivou-se avaliar a influência dos níveis de inclusão do farelo de mamona com duas granulometrias em diferentes tempos de abertura do silo, sobre a composição química, populações microbianas, perfil fermentativo, perdas durante a ensilagem e estabilidade aeróbia de silagens de cana-de-açúcar. Foi utilizado o delineamento experimental inteiramente casualizado, em um esquema fatorial 4x2x2, com quatro níveis de inclusão do farelo de mamona com base na matéria natural (0, 5, 10 e 20%), duas granulometrias (<0,5mm e >0,5mm) e dois tempos de abertura dos silos, 30 e 100 dias, com quatro repetições. Os silos experimentais continham válvulas de Bunsen visando quantificação das perdas. A cana-de-açúcar foi picada a 2cm, seguindo-se da mistura com o farelo de mamona. O material foi compactado até atingir a densidade de 600 kg m⁻³. Houve efeito linear crescente para proteína bruta nos níveis de inclusão do farelo de mamona, em ambas granulometrias e períodos de abertura (P= 0,0001), com média de 21,36 e 19,54 g Kg⁻¹ de MS. Houve efeito quadrático para mofo na abertura de 100 dias para os níveis de inclusão (P= 0,0001), com contagem mínima estimada no nível de inclusão de 10,82%. Observou-se efeito linear crescente para capacidade tampão nos níveis na granulometria fina (P= 0,0196) da abertura de 30 dias. Para temperatura máxima atingida pelo silo, houve efeito quadrático (P= 0,0011) para os níveis de inclusão, observando menor temperatura máxima no nível de inclusão de 13,69%. Ao utilizar o farelo de mamona detoxificado como aditivo proteico na ensilagem de cana-de-açúcar, recomenda-se o nível de 20% de inclusão para abertura aos 100 dias, independente da granulometria utilizada.

Palavras-chave: aditivo absorvente; conservação; estabilidade aeróbia; populações microbianas; *Saccharum officinarum*.

DETOXIFIED BRAN CASTOR BEAN AS PROTEIN ADDITIVE IN SUGARCANE ENSILAGE

The aim of this study was to evaluate the influence of castor bean meal inclusion levels with two particle sizes on chemical composition, microbial populations, fermentation profile, losses during ensiling and aerobic stability of sugarcane silages. A completely randomized experimental design was used, in a 4x2x2 factorial scheme, with four levels of inclusion of castor bean meal based on natural matter (0, 5, 10 and 20%), two particle sizes (<0.5mm and >0, 5mm) and two opening times, 30 and 100 days, with four repetitions. The experimental silos contained Bunsen valves to quantify losses. The sugarcane was chopped at 2cm, followed by mixing with the castor bean meal. The material was compacted until reaching a density of 600 kg/m³. There was an increasing linear effect for crude protein on the inclusion levels of castor bean meal, in both granulometries and opening periods (P= 0.0001), with a mean of 21.36 and 19.54 g Kg⁻¹ of DM. There was a quadratic effect for mold at the 100-day opening for the inclusion levels (P=0.0001), with an estimated minimum count at the inclusion level of 10.82%. An increasing linear effect was observed for the buffer capacity at the levels in the fine granulometry (P= 0.0196) of the 30-day opening. For the maximum temperature reached by the silo, there was a quadratic effect (P= 0.0011) for the inclusion levels, observing the lowest maximum temperature at the inclusion level of 13.69%. When using detoxified castor bean meal as a protein additive in sugarcane ensilage, it is recommended the 20% inclusion level for opening at 100 days, regardless of the particle size used.

KEYWORDS: aerobic stability; conservation; microbial populations; moisture absorbent; *Saccharum officinarum*.

SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO.....	15
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1. A cultura da cana-de-açúcar	17
2.2. Limitações da cana-de-açúcar para ensilagem	18
2.3. Aditivos para ensilagem de cana-de-açúcar	20
2.4. Farelo de mamona	21
3. MATERIAL E MÉTODOS	25
3.1. Local do experimento	25
3.2. Delineamento experimental.....	25
3.3. Produção das silagens.....	26
3.4. Variáveis avaliadas	27
3.5. Análise estatística	28
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
5. CONCLUSÃO.....	41
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Tempo de estabilidade aeróbia dos níveis de inclusão do farelo de mamona para granulometria fina (A) e granulometria grossa (B) para o tempo de abertura de 100 dias.....39

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Níveis de inclusão do farelo de mamona com base na matéria natural, composição química dos ingredientes e composição química e contagens microbianas das misturas.....25
- Tabela 2.** Efeitos isolados para silagem de cana-de-açúcar em função dos níveis de inclusão do farelo de mamona, granulometrias e períodos de abertura.....30
- Tabela 3.** Efeito de interação para proteína bruta (PB) em função dos níveis inclusão do farelo de mamona, granulometrias e períodos de abertura da silagem de cana-de-açúcar.....35
- Tabela 4.** Efeito de interação para mofo em função dos níveis inclusão do farelo de mamona, granulometrias e períodos de abertura da silagem de cana-de-açúcar.....36
- Tabela 5.** Efeito de interação para capacidade tampão (CT) em função dos níveis inclusão do farelo de mamona, granulometrias e períodos de abertura da silagem de cana-de-açúcar.....37

LISTA DE ABREVIATURAS

BDA	Batata dextrose ágar
BOD	Biochemical oxygen demand
CT	Capacidade tampão
CS	Carboidratos solúveis
EA	Estabilidade aeróbia
g	Gramma
H	Hora
ha	Hectare
Kg	Kilograma
M	Metro
m ⁻³	Metro cúbico
MFa	Massa de forragem na abertura
MFf	Massa de forragem na ensilagem (kg)
MFSf	Matéria seca da forragem na ensilagem (%)
mL	Mililitro
mm	Milímetro
MM	Matéria mineral
MRS	Man, Rogosa e Sharpe
MS	Matéria seca
MSa	Teor de matéria seca na abertura (%)
MSf	Teor de matéria seca na ensilagem (%)
N-NH ₃	Nitrogênio amoniacal
PB	Proteína bruta
PE	Perdas por efluentes
PG	Perdas por gases
pH	Potencial hidrogênio-iônico
PSA	Peso do silo na abertura (fechado)
PSF	Peso do silo na ensilagem (fechado)
RMS	Recuperação de matéria seca
rpm	Rotação por minuto

S	Peso do silo (kg)
SAa	Peso do silo vazio + areia na ensilagem (kg)
SAF	Peso do silo vazio + areia na abertura (kg)
T°	Temperatura
t	Tonelada
TMAX	Temperatura máxima
UFC	Unidade formadora de colônia

1. INTRODUÇÃO

O cultivo de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*), em função dos baixos custos e alta produção, a produção da cana-de-açúcar vem se destacando durante cada vez mais no Brasil, podendo chegar a 75 toneladas de matéria seca por hectare sem irrigação (Costa *et al.*, 2017).

Porém, devido as condições climáticas inconstantes, muitos produtores optam pela conservação da forragem, garantindo alimentação para o período seco, otimizando a mão-de-obra e logística de trabalho na propriedade. No caso específico da cana-de-açúcar, a ensilagem resulta em grandes perdas, principalmente por gases devido sua população epífita, possuindo grandes quantidades de leveduras na planta *in natura*, que são microrganismos que realizam fermentação alcoólica (Zanine *et al.*, 2010).

Outra limitação são as perdas por efluentes (Oliveira *et al.*, 2015), pois, apesar de possuir teor de matéria seca próximo do recomendado por McDonald, Henderson e Heron (1991), de 30-35%, quando a variedade é precoce, alguns estudos mostraram que a cana-de-açúcar em algumas situações apresentam teores de MS abaixo dessa recomendação (Paulino *et al.*, 2018; Carvalho *et al.*, 2018; Oliveira *et al.*, 2015), principalmente com variedades de cortes anuais, fazendo necessário o uso de aditivos higroscópicos, como os concentrados que apresentam teores de MS acima de 90%, que atuam absorvendo o excesso de umidade do material ensilado, podendo reduzir as perdas por gases pela proliferação de microrganismos indesejáveis, reduzir o efeito de diluição do ácido lático e até evitar as perdas por efluente (Silva *et al.*, 2011).

O excesso de carboidratos solúveis presente na cana-de-açúcar, que associado a baixa capacidade tampão (Gomes *et al.*, 2021), permitem uma rápida acidificação da massa ensilada, favorecendo ainda mais o desenvolvimento de leveduras, que aumentam as perdas por fermentações secundárias, principalmente a fermentação alcoólica (Zanine *et al.*, 2010; Oliveira *et al.*, 2015). O poder tampão da forragem a ser ensilada é um fator chave no processo de fermentação. Quando a planta apresenta alto poder tampão a velocidade de redução do pH é lenta e em consequência as perdas no processo de ensilagem são maiores, reduzindo a qualidade da silagem (Jobim *et al.*, 2007).

A utilização de aditivos, principalmente absorventes, promovem a elevação da MS da silagem (Silva *et al.*, 2011), reduzindo as perdas e inibindo o desenvolvimento de microrganismos indesejáveis. Sendo assim, fontes proteicas inoculadas em silagens com baixo

teor de proteína, além de promover melhorias nutricionais à silagem, por corrigir seu déficit proteico, podem atuar como tamponante durante o processo fermentativo, como alcalinizante, além de promover uma redução da atividade de água, conseqüentemente aumentando o teor de MS das silagens, inibindo vários microrganismos que promovem fermentações secundárias.

Devido a cana-de-açúcar possuir baixos teores de proteína, a utilização de algum aditivo proteico, que além de reter umidade, aumentaria o valor nutricional da silagem. Paulino *et al.* (2018), ao estudarem a inclusão do farelo de mamona detoxificado silagens de cana-de-açúcar, observaram que a adição funcionou como tamponante, impedindo rápida acidificação e diminuindo as perdas fermentativas.

Devido a suas características químicas, o farelo de mamona, subproduto oriundo do processamento da semente de mamona para extração do óleo, possui grande capacidade de utilização na alimentação animal, apesar de que seu uso é limitado por possuir compostos tóxicos (Costa *et al.*, 2004), principalmente a ricina, que é uma proteína com elevada letalidade. Assim, a utilização de farelo de mamona pode ser uma alternativa na ensilagem de cana-de-açúcar, elevando seu teor de MS, melhorando seu valor nutricional e reduzindo as perdas.

Alguns estudos avaliaram a utilização de aditivos proteicos na ensilagem de cana-de-açúcar, no entanto, não foi determinado o nível de inclusão e nem o efeito da granulometria do farelo de mamona, que pode influenciar na absorção da umidade. Esses estudos prévios, apesar de já estudarem o tema, não abordaram dados com relação ao controle da estabilidade aeróbia das silagens de cana-de-açúcar e das populações microbianas dessas silagens (Oliveira *et al.*, 2015; Paulino *et al.*, 2018). É possível que o controle das leveduras durante a fermentação, também possa incrementar a estabilidade aeróbia dessas silagens.

Portanto, objetivou-se avaliar níveis de inclusão e granulometrias do farelo de mamona em diferentes períodos de aberturas dos silos sobre a composição química, populações microbianas, perfil fermentativo, perdas durante a ensilagem e a estabilidade aeróbia de silagens de cana-de-açúcar em tempos distintos de abertura do silo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. A cultura da cana-de-açúcar

Originada na Nova Guiné, a cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) é uma gramínea pertencente à família *Poaceae* e ao gênero *Saccharum*. É uma cultura que possui grande relevância econômica para o Brasil e que vem se destacando na produção, atingindo na safra de 2019/2020, um total de 642 mil t, destinando 8,5 mil ha para plantação (CONAB, 2020), alcançando cerca de 75 toneladas de matéria seca por hectare sem irrigação (Costa *et al.*, 2017)

Por ser de origem tropical, a cana-de-açúcar possui grande adaptabilidade as regiões tropicais e subtropicais em decorrência da grande disponibilidade de luz solar nessas regiões, que acabam promovendo uma conversão alta e eficiente de luz solar em produção (Wang *et al.*, 2020).

A utilização da cana-de-açúcar ocorre de diferentes formas, desde o processamento em engenhos para produção de açúcar e cachaça, pela indústria automobilística para produção de etanol, e pela pecuária na alimentação animal, principalmente como fonte de volumoso.

De acordo com Silva *et al.* (2020), a utilização da cana-de-açúcar como fonte de volumoso suplementar é baseada na facilidade do cultivo que se mostra, de certa forma, mais competitiva quando comparado com outras forrageiras, que resulta em uma redução de custos na alimentação animal e promove a maximização da receita líquida, conseqüentemente resulta em uma boa relação custo-benefício para o produtor.

A utilização da cana-de-açúcar na pecuária vem aumentando, principalmente em função do aumento na quantidade do número de animais, principalmente bovinos confinados, destinados a produção de leite e de carne, os quais normalmente recebem dietas com alto teor de concentrado, e nesse caso esse volumoso atua fornecendo basicamente fibra na dieta desses animais, de forma a estimular a ruminação, para garantir a saúde e motilidade do rúmen.

A composição química da cana-de-açúcar apresenta de modo geral teor de MS aproximado de 27%, sendo um volumoso com baixos teores de proteína bruta (PB), em torno de 5%, porém, rico em fibras (53%) (Amaral *et al.*, 2009; Itavo *et al.*, 2010; Mendonça *et al.*, 2004; Oliveira *et al.*, 2015), que em decorrência das suas características, sua utilização é basicamente como principal fonte de fibra da dieta, associada ao uso de alguma fonte proteica, principalmente concentrados, como os derivados da soja e ureia.

2.2. Limitações da cana-de-açúcar para ensilagem

Alguns processos de conservação de forragem são bastante utilizados na criação de animais, principalmente para enfrentar o período de escassez de alimento, durante o período sazonal, diminuindo os impactos gerados sobre a produção animal e mantendo a atividade. Um dos métodos mais comuns é a produção de silagem, no qual a massa de forragem ensilada é fermentada sob anaerobiose, convertendo carboidratos solúveis em produção de ácidos orgânicos, ocasionando na redução do pH do material ensilado.

Para que esse processo ocorra de maneira desejada, recomenda-se que a planta no momento da colheita possua teor de MS entre 30 e 35%, além de possuir teor mínimo de carboidratos solúveis entre 6 e 12%, garantindo assim que ocorra um bom processo fermentativo (McDonald, Henderson, Heron, 1991).

A cana-de-açúcar apresenta como características da composição química teor de matéria seca em muitos casos abaixo de 30%, baixo teor de proteína bruta, aproximadamente de 5%, e altos teores de fibra, além de apresentar também excesso de carboidratos solúveis com valores superiores a 15 % com base na matéria seca (Rocha *et al.*, 2014; Martins *et al.*, 2015; Amaral *et al.*, 2009; Itavo *et al.*, 2010; Mendonça *et al.*, 2004). Como resultado da composição química, de acordo com Oliveira *et al.* (2015), na ensilagem de cana-de-açúcar ocorrem grandes perdas de MS em função da população epífita de leveduras contida na planta, resultando em uma intensa fermentação alcoólica, reduzindo os valores nutricionais dessa silagem.

Para ensilagem da cana-de-açúcar, recomenda-se a utilização de aditivos com finalidade de redução das perdas de MS, em decorrência da intensa fermentação alcoólica (Macêdo *et al.*, 2021). Por apresentar baixos teores de PB, sua utilização tanto na forma *in natura* quanto na forma conservada está associada ao uso de fontes proteicas, aumentando os teores proteicos e elevando o valor nutricional da silagem.

Ao estudarem a inclusão de óleo essencial de capim-limão na ensilagem de cana-de-açúcar, Cantoia Júnior *et al.* (2020) observaram que o tratamento controle, sem inclusão nenhuma do óleo, resultou em uma baixa recuperação de MS, conseqüentemente, obteve maior produção de gás em decorrência da intensa fermentação alcoólica, quando comparado com os demais tratamentos. Essa intensa fermentação alcoólica, além de aumentar as perdas, promovem a redução do valor nutricional da silagem.

Santos *et al.* (2015) ao estudarem a inoculação de *Lactobacillus buchneri* e *Lactobacillus plantarum* nas silagens de diferentes variedades de cana-de-açúcar, observaram

que a inoculação do *L. buchneri*, por se tratar de uma cepa heterofermentativa, obteve melhores resultados para estabilidade aeróbia nas diferentes variedades, porém, as silagens sem inoculantes e inoculadas com *L. plantarum*, resultaram em silagens com baixa estabilidade aeróbia, devido a prevalência de cepas homofermentativas, possuindo alta produção de ácido láctico, sem nenhum poder antifúngico, não conseguindo controlar o número de leveduras na silagem e impedir seu desenvolvimento.

Além de possuir uma grande quantidade de leveduras no momento da ensilagem, outro fator que provoca ainda mais essa fermentação indesejada é o pH ácido da silagem, em torno de 3,5 (Oliveira *et al.*, 2015; Furtado *et al.*, 2019) favorecendo ainda mais o desenvolvimento de leveduras, resultando em fermentação alcoólica, e conseqüentemente em grandes perdas nutricionais e baixa recuperação de MS.

O baixo teor de proteína e a baixa capacidade tamponante possibilitam uma rápida acidificação da massa ensilada, promovendo uma drástica redução no pH, promovendo a faixa de pH ideal para a proliferação de leveduras (Fernandes *et al.*, 2009). Ao estudarem adições de ureia nas silagens de cana-de-açúcar, Pedroso *et al.* (2003) observaram que as silagens sem adição da fonte proteica atingiam pH 4,0 em apenas 10 dias, enquanto as silagens com adição da ureia demoraram cerca de aproximadamente 20 dias, tudo isso devido à capacidade tamponante da ureia, devido sua transformação em hidróxido de amônio, uma substância alcalinizante, que consegue evitar que o pH das silagens caia de maneira drástica. Lopes e Evangelista (2010) também constataram em seus estudos esse efeito alcalinizante da ureia nas silagens de cana-de-açúcar.

Alves *et al.* (2020) também estudaram a inclusão de ureia nas silagens de cana-de-açúcar, porém, as inclusões de 0,5 e 1% de ureia com base na matéria natural não afetaram o pH das silagens de cana-de-açúcar, mas proporcionaram uma menor perda por gases e uma melhora no valor nutricional das silagens, aumentando os níveis de proteína bruta, extrato etéreo e degradabilidade efetiva.

Quando a cana-de-açúcar não é acrescida de nenhum aditivo, a fermentação alcoólica é bem mais acentuada, visto que a massa ensilada será rapidamente acidificada, favorecendo o desenvolvimento de leveduras (Itavo *et al.*, 2010). Siqueira *et al.* (2011) e Dias *et al.* (2014), ao avaliarem a adição de óxido de cálcio e ureia em silagens de cana-de-açúcar, observaram que os aditivos possuíam efeito tamponante, devido seus efeitos alcalinizantes, sendo capazes de controlar a queda brusca de pH.

2.3. Aditivos para ensilagem de cana-de-açúcar

Existem diversos tipos de inoculantes que são utilizados como aditivos nas silagens, sendo classificados de acordo com a função que irá desempenhar, que podem ser inibidores da fermentação, estimulantes da fermentação, absorventes, inibidores da deterioração aeróbia e os nutricionais, podendo ainda o mesmo aditivo ser classificado em mais de uma categoria (Silva *et al.*, 2017).

Siqueira *et al.* (2011) e Lopes e Evangelista (2010), ao estudarem inoculantes microbianos em silagens de cana-de-açúcar, observaram que a inoculação foi ineficiente, visto que, principalmente bactérias heterofermentativas como *Lactobacillus buchneri*, são utilizados com o intuito de aumentar a produção de ácido acético, com a finalidade de controlar o crescimento de leveduras e reduzir as perdas da silagem. Como possível solução para inibir o desenvolvimento de microrganismos deterioradores, com o intuito de redução de perdas, a utilização de aditivos absorventes, os quais possuem alto teor de matéria seca, e conseguem reter a umidade da gramínea (Silva *et al.*, 2011), elevando assim, o teor de matéria seca da silagem e reduzindo a atividade de água.

O excesso de carboidratos solúveis (Zanine *et al.*, 2010) e a baixa capacidade tampão da silagem de cana-de-açúcar, permite que ocorra uma rápida queda de pH nessa silagem, reduzindo o crescimento de bactérias proteolíticas, que convertem a proteína em nitrogênio amoniacal (Oliveira *et al.*, 2015). Siqueira *et al.* (2011) avaliando a inclusão de ureia na silagem de cana-de-açúcar, verificaram que a inclusão atuou como um tamponante por controlar a queda de pH da silagem, promovendo o aumento no pH. O uso da ureia, além de promover o efeito tamponante, melhorou o valor nutricional da silagem por ser uma fonte proteica, porém, não possuindo efeito absorvente.

Ao estudarem diferentes tipos de aditivos químicos na ensilagem de cana-de-açúcar, Florentino *et al.* (2020) observaram que a utilização de 2% de ureia promoveu uma maior recuperação de MS em relação aos demais aditivos, reduzindo principalmente as perdas por efluentes. Ao avaliarem ureia e aditivos absorventes de umidade na ensilagem de cana-de-açúcar, Lopes e Evangelista (2010), observaram também que as silagens aditivadas com 0,5% de ureia + 4% de milho obtiveram maiores teores de MS, em virtude da MS do milho, controlado a proliferação de leveduras e com baixo nitrogênio amoniacal, indicando pouca atividade de proteólise, evitando maiores perdas de proteína na silagem.

Rocha *et al.* (2014) ao avaliarem diferentes aditivos nas silagens de duas variantes da cana-de-açúcar, observaram que as silagens aditivadas com grão de milho moído obtiveram melhores resultados para recuperação de MS e as perdas por gases foram reduzidas, ao compararem com as silagens aditivadas com ureia. Também observaram que as silagens com o grão de milho apresentaram produção de etanol menor quando comparada as silagens com ureia, podendo ser efeito da redução da atividade de água.

Alguns estudos afirmam que baixas atividades de água são capazes de controlar grupos indesejáveis de microrganismos, como no caso das bactérias do gênero *Clostridium*, sem afetar as bactérias lácticas (McDonald, Henderson, Heron, 1991). Essa redução da atividade de água, além de aumentar a MS da silagem e reduzir o excesso de umidade, promove uma diluição do excesso de carboidratos solúveis encontrados na cana-de-açúcar, conforme Wang *et al.* (2020) que observou em seus estudos que a redução da atividade de água controlou a proliferação de leveduras.

Considerando que em muitos casos, o teor de MS da cana-de-açúcar se mantém abaixo dos 30% recomendados, o uso de concentrados poderia minimizar as perdas por efluentes, bem como aumentar a estabilidade aeróbia, uma vez que a elevação do teor de matéria seca também favorece a inibição do metabolismo de leveduras durante a fermentação, conforme Wang *et al.* (2018), ao avaliarem a estabilidade aeróbia de silagem de ração total e silagem de milho inteiro, onde observaram que a inclusão dos concentrados manteve controle sobre o desenvolvimento das leveduras.

Para silagens relacionadas a problemas com proliferação de leveduras como é o caso da cana-de-açúcar, é ideal a utilização de algum aditivo que promova esse efeito contra o desenvolvimento das leveduras, e que ao mesmo tempo também promova um efeito alcalinizante, como é o caso das fontes proteicas, controlando o crescimento das leveduras pela redução da umidade, aumentando o teor de MS e conseguindo elevar o pH, permanecendo fora da sua zona ideal de proliferação.

2.4. Farelo de mamona

A cultura da mamona (*Ricinus communis* L.) pertencente à família *Euforbiaceae* (Santos *et al.*, 2013), é bem adaptada a diversas regiões do Brasil, incluindo a região semiárida do Nordeste brasileiro, necessitando aproximadamente de 500 mm de precipitação anual, não sendo uma planta tão exigente, conseguindo sobreviver aos períodos de estiagem. Sua produção

é voltada principalmente para a indústria, para o processamento da semente, sendo um produto de baixo custo de produção, renovável e que possui uma grande versatilidade de uso. A semente da mamona é rica em ácido graxo ricinoléico, possuindo uma hidroxila no décimo segundo carbono, sendo um ácido graxo incomum entre óleos de origem vegetais extraídos de outras plantas e sementes, em que é encontrado em abundância na semente da mamona (Costa *et al.*, 2004).

Conforme Costa *et al.* (2004) e Bonfim, Silva e Santos (2009), a extração do óleo gera subprodutos da mamona, como a casca, a torta e o farelo, possuindo rendimento de aproximadamente 50% de óleo e 50% dos subprodutos, que são utilizados para produção de aminoácidos, objetos plásticos, inseticidas, além da utilização como adubo e na alimentação animal, devido ser rica em proteína.

A principal diferença entre a obtenção desses subprodutos ocorre pela maior eficiência de extração do extrato etéreo das sementes, sendo mais eficiente quando realizado por meio de solventes, gerando o farelo, e menos eficiente quando realizado por prensagem, gerando a torta. A torta de mamona, obtida por meio da prensagem ou extração mecânica possui teores de extrato etéreo mais elevados, normalmente entre 7 e 12%, já o farelo, possui menores valores de extrato etéreo, em torno de 1% (Severino *et al.*, 2006).

O farelo de mamona detoxificado possui composição química semelhante aos concentrados proteicos utilizados comercialmente: teor de MS variando de 88 à 92% aproximadamente, proteína bruta em torno de 50%, baixos valores de extrato etéreo variando entre 1,7 a 3,2%, rico em matéria mineral com 11,4%, fibra em detergente neutro (FDN) normalmente entre 30 e 55% e fibra em detergente ácido (FDA) próximo de 27% (Oliveira *et al.*, 2010)

Devido as suas características de alto teor de MS e de proteína, a utilização dos subprodutos da mamona possui alto potencial como aditivos em silagens, absorvendo a umidade e corrigindo o baixo valor proteico das gramíneas, melhorando o perfil fermentativo, além de reduzir as perdas e elevar o seu valor nutricional (Oliveira *et al.*, 2015).

Porém, apesar das características desejáveis para utilização na alimentação animal, o farelo de mamona possui em sua composição a ricina e a ricinina, que são compostos tóxicos, e a CB-1A, que é um composto alergênico, que dependendo da dose ingerida, pode ser letal e levar o animal a óbito, restringindo sua utilização e necessitando de tratamento prévio para tornar o uso seguro (Silva *et al.*, 2012; Severino, 2005).

A ricina é uma proteína dimérica, que possui efeito tóxico através da inibição da síntese proteica afetando a subunidade ribossomal 28S de maneira irreversível, através da ligação por ponte de enxofre entre as cadeias A e B, possuindo efeito de lectina (Endo *et al.*, 1988; Hu *et al.*, 2002), já a ricinina não é de fato considerada um fator limitando ao uso do farelo de mamona devido as baixas concentrações sementes (Anadan *et al.*, 2005). O composto CB-1A ou “castor bean allergen”, é considerado altamente alergênico, não tóxico e termicamente estável (Silva *et al.*, 2012).

Furtado *et al.* (2019) ao avaliarem a inclusão da casca de mamona na silagem de capim elefante (*Pennisetum purpureum*) nos níveis de 0%, 10%, 20% e 30% como aditivo absorvente de umidade, observaram que os maiores níveis de inclusão reduziram as perdas por gases e por efluentes, aumentando a MS da silagem e recuperação de MS, além de elevar o valor nutricional da silagem, elevando o teor de proteína bruta. Também observaram que as menores inclusões obtiveram valores de pH mais ácidos (entre 3,5 e 4,0 para os níveis de inclusão de 0% e 10%) e pH mais altos para os maiores níveis de inclusão da casca de mamona (entre 4,0 e 4,5 para os níveis de 10% e 20%), provavelmente em função da proteína.

Estudos com os níveis de inclusão de 0%, 5%, 10%, 15% e 20% de farelo de mamona detoxificado na silagem de cana-de-açúcar (Paulino *et al.*, 2018), observaram que os teores de MS, PB e recuperação de MS das silagens comportavam-se de maneira linear crescente a medida que aumentava o nível de inclusão do farelo, e as perdas das silagens comportavam-se de forma linear decrescente, obtendo maiores perdas para as silagens com 0% de inclusão de farelo de mamona, contendo apenas a silagem de cana-de-açúcar. O pH das silagens com maiores inclusões foram mais alcalinos (pH 3,37), associando esse resultado ao processo de detoxificação do farelo de mamona, o qual é utilizado o hidróxido de cálcio, que possui efeito alcalino, conforme Carvalho *et al.* (2012).

Oliveira *et al.* (2015) avaliaram silagens de cana-de-açúcar aditivadas com o farelo de mamona detoxificado nos níveis de inclusão de 0%, 7%, 14% e 21%. Esse estudo corrobora com os dados encontrados por Paulino *et al.* (2018) e Furtado *et al.* (2019), onde os valores de MS, PB, perdas e recuperação de MS comportaram-se da mesma forma. Os maiores níveis de inclusão proporcionaram uma redução da produção de etanol, devido à baixa tolerância das leveduras a elevação do potencial osmótico em decorrência da adição do farelo de mamona como aditivo absorvente nas silagens de cana-de-açúcar.

Sendo assim, devido as características químicas que promovem a absorção do excesso de umidade e elevar o valor nutricional da silagem, os subprodutos da mamona podem ser utilizados como aditivos absorventes e nutricionais em silagens.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Local do experimento

Foi utilizado a cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*), cv. RB86-7515, cultivada na cidade de Areia – PB, latitude 6° 57' 42" Sul, longitude 35° 41' 43" Oeste, localizada na mesorregião do Brejo Paraibano, apresentando clima tropical As, de acordo com a classificação de Köppen. O plantio foi realizado com espaçamento entre fileiras de 1 m e sulcos de 20 cm de profundidade, e a colheita da cana-de-açúcar foi realizada 12 meses após o plantio. O experimento foi conduzido no período de março à junho de 2020.

3.2. Delineamento experimental

Foi utilizado o delineamento experimental inteiramente casualizado, sendo um fatorial 4x2x2, com quatro níveis de inclusão do farelo de mamona com base na matéria natural (0, 5, 10 e 20%), duas granulometrias (<0,5mm – fina, e >0,5mm – grossa) e dois tempos de abertura do silo, aos 30 e 100 dias após ensilagem, com quatro repetições, totalizando 64 silos experimentais. Para a avaliação da estabilidade aeróbia, foi utilizado um esquema fatorial 4x2, sendo quatro níveis de inclusão do farelo de mamona e duas granulometrias, realizada apenas no último período de abertura do silo, realizado após 100 dias de fermentação. Na Tabela 1, podem ser observadas, os níveis de inclusão do farelo de mamona com base na matéria natural, composição química dos ingredientes, composição química e as contagens microbianas na ensilagem.

Tabela 1: Níveis de inclusão do farelo de mamona com base na matéria natural, composição química dos ingredientes e composição química e contagens microbianas na ensilagem.

Variáveis	Cana-de-açúcar	Composição química dos alimentos	
		F.M. Granulometria fina ¹	F.M. Granulometria grossa ²
MS ³ (g Kg ⁻¹)	218,9	921,7	911,2
MM ⁴ (g Kg ⁻¹ de MS)	34,6	102,4	75,0
PB ⁵ (g Kg ⁻¹ de MS)	32,8	366,8	339,0
CT ⁶ (mEq NaOH 100g ⁻¹)	0,17	0,17	0,24
Composição química e contagens microbianas das misturas			

Variáveis	Cana-de-açúcar com níveis de farelo de mamona (em %), granulometria fina (<0,5mm)			
	0	5	10	20
MS (g Kg ⁻¹)	230,50	254,20	289,50	366,70
MM (g Kg ⁻¹ de MS)	34,90	36,50	56,70	69,90
PB (g Kg ⁻¹ de MS)	26,30	60,80	126,40	194,30
pH ⁷	5,20	5,50	5,40	5,60
CS ⁸ (g Kg ⁻¹ de MS)	507,9	428,8	366,0	191,3
CT (mEq NaOH 100g ⁻¹)	0,08	0,10	0,09	0,12
BAL ⁹ (UFC g ⁻¹ de silagem)	5,48	5,75	5,4	5,89
MOFO ¹⁰ (UFC g ⁻¹ de silagem)	3,37	4,69	5,34	5,84
LEV ¹¹ (UFC g ⁻¹ de silagem)	4,47	4,94	5,37	5,01
Variáveis	Cana-de-açúcar com níveis de farelo de mamona (em %), granulometria grossa (>0,5mm)			
MS (g Kg ⁻¹)	229,50	272,30	283,60	347,20
MM (g Kg ⁻¹ de MS)	30,10	37,60	39,20	55,40
PB (g Kg ⁻¹ de MS)	20,10	85,70	89,80	157,00
pH	5,15	5,60	5,45	5,60
CS (g Kg ⁻¹ de MS)	497,1	402,6	378,8	218,0
CT (mEq NaOH 100g ⁻¹)	0,10	0,07	0,09	0,14
BAL (UFC g ⁻¹ de silagem)	5,89	4,48	5,93	5,09
MOFO (UFC g ⁻¹ de silagem)	5,82	4,82	4,71	4,99
LEV (UFC g ⁻¹ de silagem)	5,37	5,1	4,93	4,77

¹F.M. Granulometria fina: farelo de mamona granulometria fina (<0,5mm); ²F.M. Granulometria grossa: farelo de mamona granulometria grossa (>0,5mm); ³MS: matéria seca; ⁴MM: matéria mineral; ⁵PB: proteína bruta; ⁶CT: capacidade tampão; ⁷pH: potencial hidrogeniônico; ⁸CS: carboidratos solúveis; ⁹BAL: bactérias produtoras de ácido lático; ¹⁰MOFO: mofos; ¹¹LEV: leveduras.

3.3. Produção das silagens

Os silos experimentais foram confeccionados com baldes de PVC possuindo 20 cm de diâmetro e 30 cm de altura, sendo vedados com tampas de PVC e fita adesiva. Na parte superior de cada silo, foram adaptadas válvulas tipo Bunsen, visando a eliminação dos gases produzidos durante a fermentação. Foi adicionada 1 kg de areia nos silos com tecido tipo TNT para separar a areia da silagem, permitindo assim a drenagem dos efluentes. Os silos foram abertos 30 e 100 dias após a ensilagem, com o objetivo de avaliar e acompanhar a dinâmica fermentativa das silagens.

A cana-de-açúcar foi picada em ensiladeira estacionária, regulada para um tamanho médio de partícula de aproximadamente 2 cm, seguindo-se da mistura com o farelo de mamona

conforme cada tratamento. Após isso, o material foi ensilado e compactado até atingir a densidade de 600 kg m^{-3} .

3.4. Variáveis avaliadas

O peso dos silos foi contabilizado para determinar as perdas por gases, efluentes e recuperação de matéria seca, conforme Zanine *et al.* (2010):

PG: $(PSF - PSA)/(MFf \times MFSf) \times 100$, onde PG = perda por gases (%MS); PSF = peso do silo na ensilagem (fechado) (kg); PSA = peso do silo na abertura (fechado); MFf = massa de forragem na ensilagem (kg); MFSf = matéria seca da forragem na ensilagem (%);

PE: $(Saf - S) - (Saa - S)/MFf \times 100$, onde PE = perdas por efluentes; Saf = peso do silo vazio + areia na abertura (kg); Saa = peso do silo vazio + areia na ensilagem (kg); S = peso do silo (kg); MFf = massa de forragem na ensilagem (kg);

RMS: $(Mfa \times Mas)/(MFf \times MSf) \times 100$, onde RMS = recuperação de matéria seca (%); Mfa = massa de forragem na abertura (kg); Mas = teor de MS na abertura (%); MFf = massa de forragem na ensilagem (kg); MSf = teor de MS na ensilagem (%).

Após a abertura dos silos, o material da superfície foi descartado e o restante homogeneizado manualmente seguindo-se a amostragem para as análises de perfil fermentativo, perfil microbiológico e composição química.

As amostras antes da ensilagem e das silagens foram analisadas para determinação da composição química. Os teores de matéria seca (MS) foram determinados pelo método 934,01 (AOAC, 2012), matéria mineral (MM) pelo método 930,05 (AOAC, 2012) e o teor de proteína bruta (PB) na matéria seca, pelo método Kjeldahl 920,39 (AOAC, 2012).

Para a análise de microbiologia, foram pesados 10g de silagem fresca e adicionados a 90 ml de solução tampão fosfato agitando manualmente seguindo-se de diluições em série variando de 10^{-2} a 10^{-6} . Após isso, foi realizado o plaqueamento de cada repetição experimental em duplicata para cada meio de cultura. Os meios de cultura utilizados foram seletivos, em que o MRS ágar é usado para contagem das bactérias lácticas (BAL) após 48 h de incubação em BOD à 35°C e; BDA (batata dextrose ágar) acidificado com 1% de ácido tartárico a 10% para contagens de mofos (MOFO) e leveduras (LEV) após 72 h, ambos incubados em BOD à 30°C . Após o período de incubação, as placas com unidades formadoras de colônia (UFC) variando de 30 a 300 foram contadas, com diferenciação das características morfológicas das colônias de mofos e leveduras (Kung Jr *et al.*, 1996).

Para determinação da estabilidade aeróbia, foram coletadas amostras de 2 kg de silagem tomadas no momento da abertura dos silos e realocadas nos respectivos silos, sem necessidade de compactação, após abertura de 100 dias. Dois termômetros foram acoplados no centro geométrico da massa de cada silo e a temperatura interna foi registrada a cada 30 minutos. A temperatura ambiente foi registrada por um termômetro acoplado entre os silos, controlando-se a temperatura ambiente para 25°C. A estabilidade aeróbia foi calculada como sendo o número de horas até a massa ensilada permanecer acima de 2°C em relação à temperatura ambiente (Taylor; Kung Jr, 2002).

Os valores de pH foram determinados coletando-se uma amostra aproximadamente 25 g de cada tratamento e adicionando 100 mL de água destilada. Após o período de descanso de uma hora, a leitura foi realizada, de acordo com a metodologia descrita por Bolsen *et al.* (1992), utilizando-se um pHmetro. Os teores de nitrogênio amoniacal da silagem (N-NH₃) foram determinados de acordo com a metodologia descrita por Detmann *et al.* (2012). A capacidade tamponante (CT) foi determinada de acordo com a metodologia proposta por Playne e McDonald (1966), adaptada por Mizubuti (2009). Os teores de carboidratos solúveis em água foram determinados de acordo com a metodologia de Dubois *et al.* (1956).

3.5. Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância e regressão, utilizando-se o pacote estatístico SAS[®] (STATISTICAL ANALYSIS SYSTEMS, 2002). Os efeitos dos níveis de inclusão do farelo de mamona, da granulometria e do tempo de ensilagem foram avaliados de acordo com o modelo matemático:

$$Y_{klij} = m + N_k + G_l + T_i + (NGT)_{kli} + e_{klij}$$

Onde:

Y_{klij} = é o valor observado na parcela experimental que recebeu o nível k do fator níveis de inclusão, no nível l do fator granulometria e no nível i do fator tempo na repetição j;

M = média geral do experimento;

N_k = é o efeito do nível k do fator níveis de inclusão (k = 0, 5, 10 e 20%);

G_l = é o efeito do nível l do fator granulometria (l = <0,5mm e >0,5mm);

T_i = é o efeito no nível i do fator tempo (i = 30 e 100);

NGT_{kli} = é o efeito da interação entre o nível k do fator níveis de inclusão, do nível l do fator granulometria e do nível i do fator tempo;

E_{klij} = erro experimental (variação devida a fatores não controlados);

A estabilidade aeróbia foi avaliada somente aos 100 dias de fermentação, de modo que os efeitos dos níveis de farelo de mamona e granulometria foram avaliados de acordo com o modelo matemático:

$$Y_{kli} = m + N_k + G_l + (NG)_{kl} + e_{kli}$$

Onde:

Y_{kli} = é o valor observado na parcela experimental que recebeu o nível k do fator níveis de inclusão, no nível l do fator granulometria;

M = média geral do experimento;

N_k = é o efeito do nível k do fator níveis de inclusão (k= 0, 5, 10 e 20%);

G_l = é o efeito do nível l do fator granulometria (l= <0,5mm e >0,5mm);

NG_{kl} = é o efeito da interação entre o nível k do fator níveis de inclusão e do nível l do fator granulometria;

E_{kli} = erro experimental (variação devida a fatores não controlados);

Os efeitos de granulometria da cana-de-açúcar e do período de abertura foram comparados pelo teste de Tuckey, ao nível de 5% de significância. Para estabilidade aeróbia, foram avaliados os níveis de inclusão e a granulometria. O efeito de níveis de inclusão do farelo de mamona foi avaliado por regressão linear, adotando-se como critério para escolha dos modelos de regressão a significância dos parâmetros ao nível de 5% pelo test t de Students, bem como o valor dos coeficientes de determinação.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observou-se efeito linear crescente dos níveis de farelo de mamona para os teores de MS (P= 0,0001), MM (P= 0,0001), pH (P= 0,0001) e RMS (P= 0,0001) e efeito linear decrescente para N-NH₃ (P= 0,0001), PG (P= 0,0001) e PE (P= 0,0001) (Tabela 2). Não houve efeito para contagens microbianas de BAL (P= 0,3043) e LEV (P= 0,3042), e para os CS (P= 0,2862) (Tabela 2).

Não houve efeito de interação (P > 0,05) para os níveis de inclusão do farelo de mamona, granulometrias e períodos de abertura para MS (matéria seca), MM (matéria mineral), contagem das populações microbianas de BAL (bactérias produtoras de ácido lático) e LEV (leveduras), pH (potencial hidrogeniônico), CS (carboidratos solúveis), N-NH₃ (nitrogênio amoniacal), PG (perdas por gases), PE (perdas por efluentes) e RMS (recuperação de matéria seca) (Tabela 2).

Em relação aos períodos de abertura, houve uma redução de 8,9 g Kg⁻¹ na MS aos 100 dias, quando comparado aos 30 dias (P= 0,0181), apresentando diferença entre os períodos de abertura dos silos de 3,9 g Kg de MS⁻¹ (P= 0,0007), 1,08 UFC g⁻¹ de silagem para BAL (P= 0,0001), 1,48 UFC g⁻¹ de silagem para LEV (P= 0,0001), 0,21 para pH (P= 0,0001), 8,30 g Kg⁻¹ de MS para CS (P= 0,0001), 0,38%N total para N-NH₃ (P= 0,0001), 3,565 de MS para PG (P= 0,0001) e 36,6 g Kg⁻¹ para RMS (P= 0,0208). Não houve diferença significativa para as PE (P= 0,3842) (Tabela 2).

Tabela 2: Efeitos isolados para silagem de cana-de-açúcar em função dos níveis de inclusão do farelo de mamona, granulometrias e períodos de abertura.

Variáveis ¹	Níveis de farelo de mamona				EMP	Efeito		R ²
	0	5	10	20		L	Q	
MS ² (g Kg ⁻¹)	170,8	204,9	243,2	318,6	0,36	0,0001	0,6092	96,96
MM ³ (g Kg ⁻¹ de MS)	46,4	50,3	55,8	63,7	0,10	0,0001	0,7407	99,62
BAL (UFC g ⁻¹ de silagem)	5,47	6,20	5,56	5,47	0,17	0,3043	0,0911	-
LEV (UFC g ⁻¹ de silagem)	4,87	5,60	5,49	5,40	0,25	0,3042	0,1068	-
pH ⁴	3,28	3,51	3,61	3,78	0,01	0,0001	0,0001	93,88
CS (g Kg ⁻¹ de MS)	18,4	20,1	15,4	17,1	0,15	0,2862	0,5888	-
N-NH ₃ ⁵ (%N total)	2,37	0,68	0,47	0,30	0,06	0,0001	0,0001	62,22
PG ⁶ (% MS)	16,18	13,56	11,03	5,44	0,23	0,0001	0,4793	99,95
PE ⁷ (Kg t ⁻¹)	53,05	37,09	27,39	9,87	1,12	0,0001	0,0030	97,86
RMS ⁸ (g Kg ⁻¹)	674,2	721,6	797,6	867,3	1,53	0,0001	0,2745	97,48

Variáveis	Aberturas		Média	P-valor
	30 dias	100 dias		
MS (g Kg ⁻¹)	238,80a	229,90b	234,30	0,0181
MM (g Kg ⁻¹ de MS)	52,10b	56,00a	54,10	0,0007
BAL (UFC g ⁻¹ de silagem)	6,21a	5,13b	5,67	0,0001
LEV (UFC g ⁻¹ de silagem)	6,08a	4,60b	5,34	0,0001
pH	3,44b	3,65a	3,51	0,0001
CS (g Kg ⁻¹ de MS)	21,90a	13,60b	1,78	0,0001
N-NH ₃ (%N total)	0,76b	1,14a	0,95	0,0001
PG (% MS)	10,04b	13,06a	11,55	0,0001
PE (Kg t ⁻¹)	31,36a	32,34a	31,86	0,3842
RMS (g Kg ⁻¹)	783,50a	746,90b	765,20	0,0208

Variáveis	Granulometrias		Média	P-valor
	G. Fina ⁹	G. Grossa ¹⁰		
MS (g Kg ⁻¹)	236,60a	232,10a	234,35	0,2225
MM (g Kg ⁻¹ de MS)	57,30a	50,80b	54,05	0,0001
BAL (UFC g ⁻¹ de silagem)	5,91a	5,44b	5,68	0,0079
LEV (UFC g ⁻¹ de silagem)	5,56a	5,12a	5,34	0,0906
pH	3,57a	3,53b	3,55	0,0162
CS (g Kg ⁻¹ de MS)	16,30a	19,20a	1,78	0,0690
N-NH ₃ (%N total)	0,90a	1,01a	0,96	0,1077
PG (% MS)	11,24b	11,87a	11,56	0,0082
PE (Kg t ⁻¹)	32,23a	31,48a	31,86	0,5073
RMS (g Kg ⁻¹)	772,40a	757,90a	765,20	0,3506

Médias seguidas da mesma letra, nas linhas, não diferem entre si pelo teste de Tukey à 0,05 de probabilidade; ¹Variáveis: MS: matéria seca; MM: matéria mineral; BAL: bactérias produtoras de ácido láctico; LEV: leveduras; pH: potencial hidrogeniônico; CS: carboidratos solúveis; N-NH₃: nitrogênio amoniacal; PG: perdas por gases; PE: perdas por efluentes; RMS: recuperação de matéria seca; ²: $\hat{Y} = 16.936875 + 0.743375X$; ³: $\hat{Y} = 4.642750 + 0.087704X$; ⁴: $\hat{Y} = 3.343750 + 0.023750X$; ⁵: $\hat{Y} = 1.729625 - 0.088064X$; ⁶: $\hat{Y} = 16.251250 - 0.536500X$; ⁷: $\hat{Y} = 50.174500 - 2.093514X$; ⁸: $\hat{Y} = 67.927875 + 0.982457X$; ⁹: Farelo de mamona granulometria fina (<0,5mm); ¹⁰: Farelo de mamona granulometria grossa (>0,5mm).

Os teores de MS e MM aumentaram de forma linear crescente ($P < 0,00001$) de acordo com os níveis de inclusão do farelo de mamona em decorrência dos valores da sua própria composição química, possuindo altos valores de MS e MM, respectivamente, 921,7 e 911,2 (g Kg⁻¹) e 102,4 e 75,0 (g Kg⁻¹ de MS) (Tabela 1). Santos *et al.* (2018) também encontraram comportamento semelhante para os teores de MS e MM ao avaliarem silagens de cana-de-açúcar aditivadas com resíduos de feijão.

Os valores de MS diferiram entre si para os tempos de abertura, 238,8 e 229,9 g kg⁻¹, respectivamente, para as aberturas de 30 e 100 dias. Esses resultados possuem relação com os

dados de PG e PE, indicando que houve perdas de MS em decorrência da produção de gás e de efluentes, afetando, conseqüentemente, na RMS dessas silagens, sendo o período de 30 dias superior ao de 100 dias (783,5 e 746,9 g Kg⁻¹). Não obstante, não houve diferença significativa entre as aberturas para PE (31,36 e 32,34 Kg t⁻¹), enquanto as PG foram mais intensas no período de 100 dias, afetando diretamente no valor de RMS das aberturas. Santos *et al.* (2018) também observaram menores PG e PE para as silagens de cana-de-açúcar com maior adição de resíduo de feijão (33 g Kg⁻¹ de MS).

A utilização das granulometrias afetou diretamente no valor de MM entre elas, obtendo resultado superior para o valor de granulometria fina (57,3 g Kg⁻¹ de MS), em função da maior concentração desse constituinte em sua composição (102,4 g Kg⁻¹ de MS).

As contagens das populações microbianas de BAL diferiram entre os períodos de abertura, sendo a abertura de 30 dias superior à de 100 dias, em função da maior disponibilidade de CS (21,9 e 13,6 g Kg⁻¹ de MS), que serve de substrato para fermentação dessas bactérias. Zhang *et al.* (2019) também observaram comportamento semelhante para população de BAL em seus estudos com cana-de-açúcar, apresentando maior contagem para a abertura de 20 dias, reduzindo as contagens para as aberturas posteriores, realizadas aos 45 e 60 dias. Para o efeito das granulometrias, pode-se observar que a contagem de BAL foi superior na granulometria fina, indicando que houve uma maior utilização por parte das bactérias promovendo uma maior redução nos teores de CS (16,3 g Kg⁻¹ de MS), justificando sua maior contagem.

Silagens de cana-de-açúcar normalmente são abundantes nas contagens de LEV em decorrência da sua alta população epífita antes mesmo do processo de ensilagem (Bernardes *et al.*, 2007), o que normalmente resulta em uma intensa fermentação alcóolica, com pH ácido e altas produções de etanol. Observa-se que para o efeito das aberturas dos silos houve diferença entre as contagens de LEV, justificando-se pela faixa de pH encontrada nas silagens, 3,44 e 3,65, respectivamente, para as aberturas realizadas aos 30 e 100 dias. Essa faixa de pH mais ácido (3,44) encontra-se dentro da faixa ideal para crescimento de leveduras, conforme McDonald, Henderson e Heron (1991), favorecendo o maior desenvolvimento dessa população microbiana, justificando as maiores contagens desse grupo microbiano.

Observa-se um comportamento linear crescente (P= 0,0001) para os valores de pH à medida que aumentam os níveis de inclusão do farelo de mamona na silagem. Esse aumento está relacionado ao incremento de proteína bruta na silagem, evitando uma rápida acidificação da massa ensilada, deixando o pH no nível de 20% de inclusão próximo aos valores recomendados

pela literatura para garantir um bom processo fermentativo, que é entre 3,8 e 4,2 conforme McDonald, Henderson e Heron (1991). Semelhantemente, Furtado *et al.* (2019), ao avaliarem a inclusão da casca de mamona na silagem de capim elefante, também observaram a elevação do pH das silagens à medida que aumentavam a inclusão.

Ao estudarem a adição de ureia nas silagens de cana-de-açúcar, Siqueira *et al.* (2011) e Florentino *et al.* (2020) encontraram também a elevação do pH associada ao uso da fonte proteica. Durante o processo de detoxificação industrial do farelo de mamona, comumente é utilizado o hidróxido de cálcio, que possui efeito alcalinizante, o que Carvalho *et al.* (2012) associaram em seus estudos, mantendo o pH mais alcalino.

Conforme a Tabela 1, além de aumentar a MS das silagens, observa-se que houve uma diluição dos CS durante a mistura da cana-de-açúcar com o farelo de mamona em função da sua inclusão, obtendo menores valores de CS para os maiores níveis de utilização do farelo, em decorrência do seu alto teor de MS, diluindo a quantidade total de CS.

Corroborando com esses dados, Ribeiro *et al.* (2014) também observaram esse efeito diluidor da torta de mamona na silagem de capim elefante, assim como Paulino *et al.* (2018) observaram essa redução dos carboidratos nas silagens de cana-de-açúcar com adição do farelo de mamona. Dessa forma, a inclusão do farelo de mamona promoveu uma diluição do teor de CS, tornando a fermentação menos intensa.

Observa-se que, apesar reduzida, houve atividade proteolítica para as silagens, indicando a utilização da proteína disponível nas silagens como substrato, promovendo a transformação de proteína em nitrogênio amoniacal (Oliveira *et al.*, 2015). O maior valor de N-NH₃ encontrado foi para a silagem de cana-de-açúcar sem inclusão do farelo de mamona (2,37% N total), o que demonstra que apesar do elevado teor protéico, a inclusão do farelo de mamona não estimulou a proteólise, em função da predominância das BAL nessas silagens. A atividade proteolítica está associada as bactérias do gênero *Clostridium* (Muck & Kung Jr, 2007), cujo pH ideal para seu desenvolvimento são mais alcalinos, normalmente acima de 4,5. O próprio pH das silagens justifica a baixa produção de N-NH₃, devido ser um pH mais ácido que o tolerado pelas bactérias proteolíticas.

Apesar da presença de N-NH₃ nas silagens indicar a ocorrência de atividade proteolítica, os resultados foram ínfimos quando comparados com o valor de referência de McDonald, Henderson e Heron (1991), indicaram que silagens bem fermentadas devem ser inferiores à 10% de N-NH₃ da quantidade de nitrogênio total, não afetando a qualidade nutricional dessa silagem.

Ribeiro *et al.* (2014) também observaram que a inclusão da torta de mamona nas silagens de capim elefante e cana-de-açúcar, respectivamente, diminuíram substancialmente os valores de N-NH₃, reduzindo as perdas nutricionais da silagem através da proteólise.

A redução nas PG e PE são justificadas pelo aumento crescente da MS das silagens, à medida que aumenta o nível de inclusão do farelo de mamona, reduz a atividade de água dessas silagens, pois além de inibir o desenvolvimento de microrganismos indesejáveis, e conseqüentemente promove a redução das perdas por gases e efluentes (Silva *et al.*, 2011). O farelo de mamona, por ser um subproduto seco, independente da sua granulometria, consegue absorver o excesso de umidade da cana-de-açúcar. Rocha *et al.* (2014), também observaram esse efeito para o grão de milho moído em diferentes cultivares de cana-de-açúcar, reduzindo a atividade de água.

O teor de MS e PG está interligado ao aumento substancial da MS ser associado a prevalência de bactérias homofermentativas, produzindo assim, menor quantidade de gases (Muck, 2010). Como pode-se observar, para os tempos de aberturas, as silagens abertas aos 30 dias possuíam maior teor de MS (238,8 g Kg⁻¹) quando comparados as silagens abertas aos 100 dias (229,9 g Kg⁻¹), justificando maiores valores de PG aos 100 dias, influenciando diretamente nos valores de RMS.

À medida que se aumentou a inclusão do farelo de mamona, elevou-se o teor de MS, e as perdas foram reduzidas, aumentando a sua recuperação. Vários autores também observaram que maiores níveis de farelo de mamona nas silagens de cana-de-açúcar e capim elefante, proporcionaram maiores RMS das silagens (Furtado *et al.*, 2019; Ribeiro *et al.*, 2014; Oliveira *et al.*, 2015; Paulino *et al.*, 2018), corroborando com esse trabalho, onde o maior nível de inclusão (20%) resultou em RMS de 867,3 g Kg⁻¹.

Houve efeito de interação (P<0,05) entre os fatores para o teor de proteína bruta (PB) (Tabela 3). Foram observados efeito linear crescente para os níveis de inclusão do farelo de mamona, em ambas as granulometrias (P= 0,0001) e períodos de abertura (P= 0,0001).

Tabela 3: Efeito de interação para proteína bruta (PB), em g Kg⁻¹ de MS, em função dos níveis inclusão do farelo de mamona, granulometrias e períodos de abertura da silagem de cana-de-açúcar.

Granulometria	Níveis de farelo de mamona				EPM	L	Q	R ²
	0	5	10	20				
30 dias								
Fina ¹	33,6A a	83,6Ba	156,1A a	213,0Aa	0,86	0,0001	0,0107	96,04
Grossa ²	27,9A a	105,6A a	154,4A a	214,1Aa				
Média	30,8	94,6	155,3	213,6				
100 dias								
Fina ³	29,0A a	118,5A a	154,6A a	227,2Aa	0,86	0,0001	0,0011	94,45
Grossa ⁴	28,5A a	101,0A a	134,7A a	163,5Bb				
Média	28,8	109,8	144,7	195,4				

Médias seguidas de mesma letra maiúscula, nas colunas, e minúscula, nas linhas, não diferem entre si pelo teste de Tukey à 0,05 de probabilidade; EPM: erro padrão da média; L: efeito linear; Q: efeito quadrático; R²: coeficiente de determinação: G. fina: granulometria fina (<0,5mm) do farelo de mamona; G. grossa: granulometria grossa (>0,5mm) do farelo de mamona; ¹: $\hat{Y} = 4.224500 + 0.907129X$; ²: $\hat{Y} = 4.706500 + 0.86614X$; ³: $\hat{Y} = 5.034000 + 0.937400X$; ⁴: $\hat{Y} = 5.174000 + 0.631114X$.

Por ser uma fonte proteica, o farelo de mamona promoveu um incremento de proteína bruta nas silagens de cana-de-açúcar, o que está associado com os níveis de inclusão do farelo, de acordo com a PB dos farelos, 366,8 e 339,0 g Kg⁻¹ de MS, respectivamente para o farelo de granulometria fina (<0,5mm) e para o farelo de granulometria grossa (>0,5mm), e ao fato de ter ocorrido reduzida proteólise durante o processo fermentativo, em função dos valores baixos de pH. Oliveira *et al.* (2015) e Paulino *et al.* (2018), ao avaliarem as inclusões de 21% e 20% do farelo de mamona nas silagens de cana-de-açúcar, respectivamente, encontraram valores de PB de 200 e 185,5 g Kg⁻¹ de MS, correspondente aos maiores níveis de inclusão, corroborando com esses resultados.

Houve diferença significativa na maior inclusão entre as granulometrias na abertura de 100 dias, devido à maior produção de N-NH₃ da abertura, associada a maior PG, e conseqüentemente, menor RMS da abertura de 100 dias quando comparada a abertura de 30 dias (Tabela 2). Esses maiores valores de perdas e maior atividade proteolítica promoveram a redução do teor de PB das silagens.

Houve efeito de interação entre os níveis de inclusão, granulometrias e períodos de abertura dos silos (P<0,05) para contagem de mofos (Tabela 4). Observou-se efeito linear

crescente para a abertura de 30 dias, para a granulometria fina ($P= 0,0001$) e granulometria grossa ($P= 0,0068$). Para a abertura de 100 dias, não houve diferença significativa dos níveis de inclusão do farelo de mamona para a granulometria fina ($P= 0,9302$) (Tabela 4). Observou-se efeito quadrático na abertura de 100 dias para os níveis de inclusão do farelo de mamona na granulometria grossa ($P= 0,0001$) (Tabela 4), com contagem mínima de mofos (UFC g^{-1} de silagem) estimada para no nível de inclusão de 10,82% do farelo de mamona na ensilagem de cana-de-açúcar.

Tabela 4: Efeito de interação para mofo, em UFC g^{-1} de silagem, em função dos níveis inclusão do farelo de mamona, granulometrias e períodos de abertura da silagem de cana-de-açúcar

Granulometria	Níveis de farelo de mamona				EPM	L	Q	R ²
	0	5	10	20				
30 dias								
Fina ¹	6,78Aa	6,52Aa	6,06Aa	4,81Ab	0,3	0,0001	0,4256	97,32
Grossa ²	5,73Ab	5,54Ab	5,83Aa	6,79Aa				
Média	6,26	6,03	5,95	5,80				
100 dias								
Fina	3,98Bb	3,77Ba	4,10Ba	3,93Ba	0,3	0,9302	0,9153	-
Grossa ³	5,42Aa	3,13Ba	4,01Ba	4,55Ba				
Média	4,70	3,45	4,06	4,24				

Médias seguidas de mesma letra maiúscula, nas colunas, e minúscula, nas linhas, não diferem entre si pelo teste de Tukey à 0,05 de probabilidade; EPM: erro padrão da média; L: efeito linear; Q: efeito quadrático; R²: coeficiente de determinação: G. fina: granulometria fina (<0,5mm) do farelo de mamona; G. grossa: granulometria grossa (>0,5mm) do farelo de mamona; ¹: $\hat{Y} = 6,928000 - 0,100914X$; ²: $\hat{Y} = 5,464000 + 0,058471X$; ³: $\hat{Y} = 5,132773 - 0,316927X + 0,014645X^2$.

De acordo com Macêdo *et al.* (2021), as silagens de cana-de-açúcar devem ser acrescidas de algum aditivo visando reduzir a fermentação alcoólica oriundos de mofos e leveduras. O incremento do farelo de mamona nas silagens conseguiu controlar o desenvolvimento de mofos, sendo o número de contagens das UFC g^{-1} de silagem inferior para abertura de 100 dias (Tabela 2).

Esse efeito controlador das populações de mofos pode estar associado ao valor de MS e pH das silagens, onde o teor de MS para período de abertura de 30 dias, apesar de ser superior ao teor de MS da abertura de 100 dias, apresentam pHs baixos (3,44) quando comparados aos pH das silagens da segunda abertura (3,65). Atrelado a isso, a elevação da MS das silagens produz ação direta sobre a redução da atividade de água e promovendo um efeito diluidor nos CS, modificando as condições ambientais para o desenvolvimento desses microrganismos, que

necessitam de ambientes mais úmidos e com maiores quantidades de substrato disponíveis. Wang *et al.* (2018) observaram comportamento semelhante sobre a população de leveduras das silagens de cana-de-açúcar, ambos em função da redução da atividade de água, inibindo o metabolismo das leveduras, atenuando a intensa fermentação das silagens, promovendo uma maior RMS. Provavelmente, essa inibição provocada pela redução da atividade de água sobre crescimento populacional das leveduras pode ter ocorrido para a população de mofos. Castro *et al.* (2006) também observaram que a atividade de água reduzida promove restrição sobre o crescimento microbiano, promovendo uma redução da intensidade do processo fermentativo, implicando positivamente sobre a estabilidade aeróbia das silagens.

Houve efeito de interação entre os níveis de inclusão, granulometrias e períodos de abertura dos silos ($P < 0,05$) para a capacidade tampão (Tabela 5). Observa-se efeito linear crescente para os níveis de inclusão do farelo de mamona para a granulometria fina ($P = 0,0196$) na abertura de 30 dias, porém, não houve efeito para a granulometria grossa ($P = 0,2919$ e $P = 0,5644$) (Tabela 5). Para abertura de 100 dias, observa-se efeito linear crescente para os níveis de inclusão do farelo de mamona para ambas as granulometrias, ($P = 0,0071$ e $P = 0,0001$) (Tabela 5).

Tabela 5: Efeito de interação para capacidade tampão (CT), em mEq NaOH $100g^{-1}$, em função dos níveis inclusão do farelo de mamona, granulometrias e períodos de abertura da silagem de cana-de-açúcar

Granulometria	Níveis de farelo de mamona				EPM	L	Q	R ²
	0	5	10	20				
30 dias								
Fina ¹	0,55Aa	0,52Aa	0,60Aa	0,62Aa	0,02	0,0196	0,7888	72,76
Grossa	0,48Aa	0,43Ab	0,54Aa	0,50Ab				
Média	0,52	0,48	0,57	0,56				
100 dias								
Fina ²	0,51Aa	0,50Aa	0,52Aa	0,40Bb	0,02	0,0071	0,1076	69,24
Grossa ³	0,36Bb	0,46Aa	0,54Aa	0,55Aa				
Média	0,44	0,48	0,53	0,48				

Médias seguidas de mesma letra maiúscula, nas colunas, e minúscula, nas linhas, não diferem entre si pelo teste de Tukey à 0,05 de probabilidade; EPM: erro padrão da média; L: efeito linear; Q: efeito quadrático; R²: coeficiente de determinação; G. fina: granulometria fina (<0,5mm) do farelo de mamona; G. grossa: granulometria grossa (>0,5mm) do farelo de mamona; ¹: $\hat{Y} = 0.533500 + 0.004743X$; ²: $\hat{Y} = 0.532000 - 0.005514X$; ³: $\hat{Y} = 0.399000 + 0.009186X$.

A cana-de-açúcar possui uma baixa CT, acidificando rapidamente durante o processo fermentativo (Fernandes *et al.*, 2009). Com efeito linear crescente, o maior nível de inclusão do

farelo de mamona possibilitou um aumento na resistência da capacidade tampão das silagens, em função do seu alto teor de proteína, com efeito alcalinizante. Vale ressaltar também que, durante o processo de detoxificação do farelo de mamona, visando a eliminação da sua toxicidade, é utilizado o hidróxido de cálcio (Carvalho *et al.*, 2012), possuindo efeito alcalinizante, o que pode ter aumentado ainda mais o poder tamponante. Resultados como esses de CT são constatados pelos pH's das silagens, obtendo silagens mais ácidas (3,28) para as menores inclusões do farelo de mamona, e mais próximas (3,78) dos valores recomendados por McDonald, Henderson e Heron (1991) para o maior nível de inclusão, e pelos teores de PB das silagens, conforme observados na Tabela 3. A redução da atividade de água também pode promover esse efeito tamponante também, em função do aumento de MS, diluindo o teor de CS (Wang *et al.*, 2018; Wang *et al.*, 2020) e aumenta também a quantidade de PB, predispondo ao maior tamponamento das silagens com maior inclusão do farelo de mamona em decorrência desse incremento.

Não houve efeito de interação ($P= 0,0629$) para estabilidade aeróbia nos níveis de inclusão do farelo de mamona e granulometrias fina (A) e grossa (B) após abertura de 100 dias (Figura 1). Observa-se efeito linear crescente ($P= 0,0001$) para os níveis de inclusão do farelo de mamona na estabilidade aeróbia (EA) das silagens, obtendo respectivamente, 26,8; 35,4; 41,9 e 48,5 horas para os níveis de 0%, 5%, 10% e 20% de inclusão, respectivamente. Para EA, o uso das granulometrias fina ($<0,5\text{mm}$) e grossa ($>0,5\text{mm}$) não diferiram entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, obtendo valor médio de 38,15 horas.

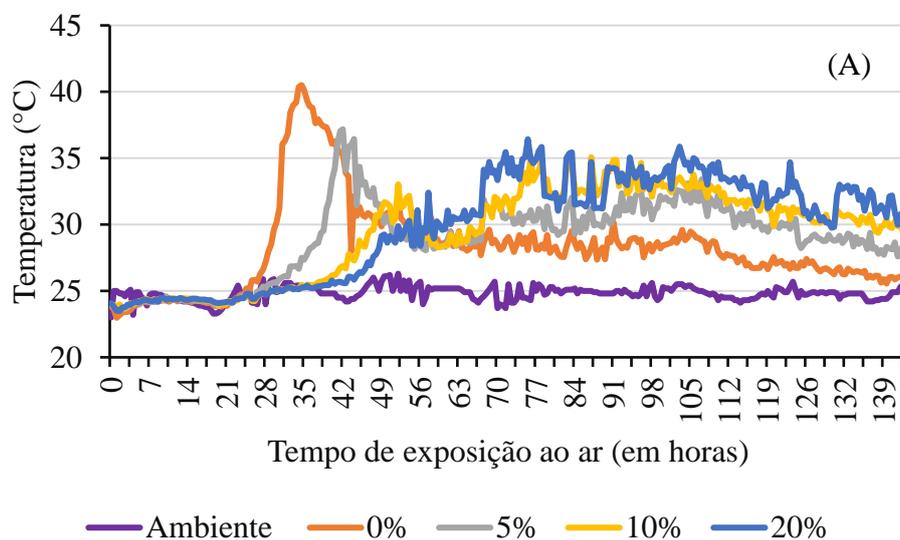
Não houve efeito de interação ($P= 0,4538$) para os valores de temperatura máxima (TMAX, em °C) atingindo pelas silagens. Houve efeito quadrático ($P= 0,0011$) para os níveis de inclusão do farelo de mamona, atingindo valor de TMAX de 42,0; 39,4; 36,5 e 37,8°C, respectivamente, observando menor TMAX no nível de inclusão de 13,69% do farelo de mamona na ensilagem de cana-de-açúcar. O uso das granulometrias não diferiu entre si para os valores de TMAX, atingindo 38,9°C para silagens com a granulometria fina e 39,0°C para silagens com a granulometria grossa.

A adição do farelo de mamona nas silagens de cana-de-açúcar promoveu o aumento do teor de MS conforme o incremento do aditivo, reduzindo a atividade de água das silagens com maiores níveis adicionados e controlando a proliferação de mofos e leveduras para o período de 100 dias.

Para o período de abertura de 30 dias, observou-se contagens superiores de leveduras e mofos quando comparados para o período de abertura de 100 dias (Tabelas 2 e 4,

respectivamente). Esses valores de contagens microbianas de mofos e leveduras são justificados pelo pH dessas silagens do período de abertura de 100 dias ser mais alcalino (pH= 3,65) que o período de abertura de 30 dias (pH= 3,44).

A inclusão dos maiores níveis de inclusão do farelo de mamona atingiu os maiores tempos de EA e menores TMAX atingidas pelas silagens, respectivamente para os níveis de 10 e 20% de inclusão, 41,9 e 48,5 horas e 36,5 e 37,8°C, respectivamente (Figura 1). Esse maior efeito sobre a EA e TMAX atingida pelas silagens ocorreu em função dos teores de MS que foram capazes de diminuir a proliferação de mofos e leveduras no período de abertura de 100 dias, também explicado pelo pH mais elevado e baixa atividade de água. Esse efeito pode ser em decorrência da maior prevalência de BAL, que possivelmente podem ser cepas heterofermentativas, produzindo, fora o ácido lático, outros ácidos orgânicos como o ácido acético e propiônico, possuindo efeito antifúngico contra mofos e leveduras, explicando o maior tempo de EA das silagens. Corroborando com esses resultados, Paulino *et al.* (2018) também encontraram em seus estudos valores de EA semelhantes para as silagens de cana-de-açúcar enriquecidas com o farelo de mamona detoxificado, obtendo maiores tempos de estabilidade para o nível de 20%.



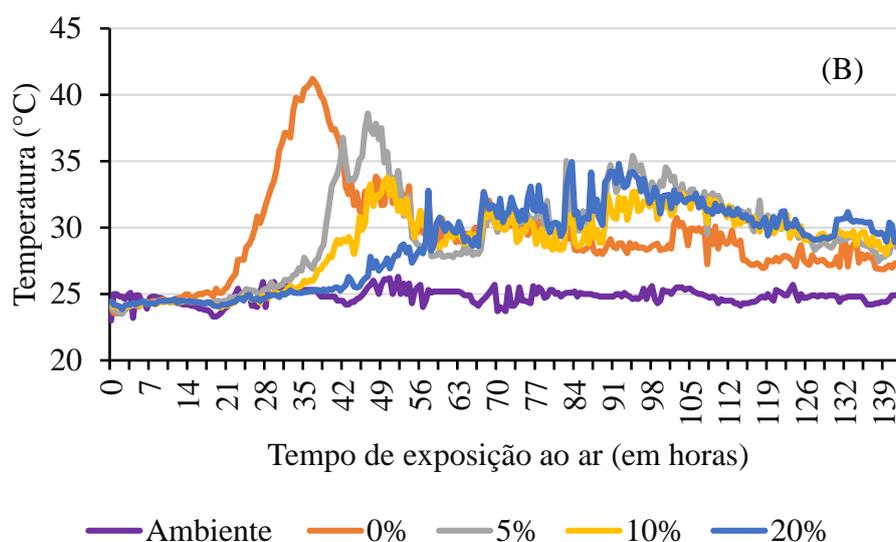


Figura 1 - Tempo de estabilidade aeróbia dos níveis de inclusão do farelo de mamona para granulometria fina (A) e granulometria grossa (B) para o tempo de abertura de 100 dias

Avaliando os resultados dessa pesquisa, as silagens aditivadas com 20% do farelo de mamona detoxificado obtiveram menores produções de gases e efluentes, reduzindo suas perdas, e aumentando a RMS. Esse nível de inclusão também proporcionou uma maior CT, mantendo o pH das silagens mais próximo do recomendado pela literatura para silagens bem fermentadas, conseguindo controlar o crescimento de mofos e leveduras para o período de armazenamento de 100 dias. Os níveis de 5%, 10% e 20% de inclusão aumentaram o valor nutricional das silagens, principalmente no valor de PB, devido se tratar de um subproduto rico em proteína. Os níveis de 10% e 20% obtiveram os melhores resultados para tempo de EA e atingiram as menores TMAX, prolongando assim, o seu tempo de uso quando comparados as silagens de cana-de-açúcar sem adição do farelo de mamona.

Assim, a inclusão do farelo de mamona detoxificado promoveu alterações na composição química, populações microbianas, perfil fermentativo, perdas durante a ensilagem e estabilidade aeróbia das silagens.

5. CONCLUSÃO

Ao utilizar o farelo de mamona detoxificado como aditivo protéico na ensilagem de cana-de-açúcar, recomenda-se o nível de 20% de inclusão para abertura aos 100 dias, independente da granulometria utilizada, promovendo melhorias na composição química, perfil fermentativo, populações microbianas, estabilidade aeróbia das silagens e reduzindo perdas durante a ensilagem.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, W. S. *et al.* Fermentative characteristics and nutritional value of sugarcane silage added with two types of urea. **Revista Colombiana de Ciências Pecuárias**, v. 33, n. 3, p. 182-194, 2020.
- AMARAL, R. C. *et al.* Cana-de-açúcar ensilada com ou sem aditivos químicos: fermentação e composição química. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, p. 1413-1421, 2009.
- ANANDAN, S. *et al.* Effect of different physical and chemical treatments on detoxification of ricin in castor cake. **Animal Feed Science and Technology**, v. 120, n. 1-2, pág. 159-168, 2005.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis**. 19th ed. Gaithersburg: AOAC International, 2012. Assoc Anal Chem, 1990.
- BERNARDES, T. F. *et al.* Avaliação da queima e da adição de milho desintegrado com palha e sabugo na ensilagem de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, p. 269-275, 2007.
- BOLSEN, K.K. *et al.* Effect of silage additives on the microbial succession and fermentation process of alfafa and corn silages. **Journal of Dairy Science**, v.75, n.11, p.3066-3083, 1992.
- BOMFIM, M.A.D., SILVA, M.M.C., SANTOS, S.F. Potencialidades da utilização de subprodutos da indústria de biodiesel na alimentação de caprinos e ovinos. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, v.3, p.15-26, 2009.
- CANTOIA JÚNIOR, R. *et al.* Lemongrass essential oil in sugarcane silage: fermentative profile, losses, chemical composition, and aerobic stability. **Animal Feed Science and Technology**, p. 1-10. 2020.
- CARVALHO, B.F. *et al.* Effects of propionic acid and *Lactobacillus buchneri* (UFLA SIL 72) addition on fermentative and microbiological characteristics of sugar cane silage treated with and without calcium oxide. **Grass and Forage Science**, v. 67, p. 462-471, 2012.
- CASTRO, F. G. F. *et al.* Perfil microbiológico, parâmetros físicos e estabilidade aeróbia de silagens de capim-tifton 85 (*Cynodon sp.*) confeccionadas com distintas concentrações de matéria seca e aplicação de aditivos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 35, n. 2, p. 358-371, 2006.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>. Acesso em 01 de junho de 2020.
- COSTA, F. X. *et al.* Avaliação de teores químicos na torta de mamona. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 4, n. 2, p. 1-7, 2004.

- COSTA, C.T.S. *et al.* Produtividade e eficiência no uso da água da cana-de-açúcar submetida a lâminas de irrigação. In: INOVAGRI International Meeting, IV, 2017, Fortaleza. **Anais...Fortaleza: INCTSal**, 2017, 1 - 10p.
- DERIAZ, R. E. Routine analysis of carbohydrate and lignin in herbage. **Journal of Science Food and Agriculture**. v. 12, p. 150-160, 1961.
- DETMANN, E.; *et al.* 2012. Métodos para análise de alimentos - Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Ciência Animal. Suprema, Visconde do Rio Branco.
- DIAS, A. M. Ureia e glicerina bruta como aditivos na ensilagem de cana-de-açúcar. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 66, n. 6, p. 1874-1882, 2014.
- DUBOIS, M. *et al.* **Colorimetric Method for Determination of Sugars and Related Substances**. Analytical Chemistry, v. 28, n. 3, p. 350–356, 1956.
- ENDO, Y., TSURUGI, K. 1988. The RNA N-glycosidase activity of ricin A-chain. *The Journal of Biological Chemistry*, 263:8735-8739
- FERNANDES, F.E.P. *et al.* Ensilagem de sorgo forrageiro com adição de ureia em dois períodos de armazenamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, n.11, p.2111-2115, 2009.
- FLORENTINO, L.S. *et al.* Análise das perdas em silagem de cana-de-açúcar submetida a diferentes tipos de aditivos químicos. **Enciclopédia Biosfera**. Jandaíra, Go, p. 22-32. dez. 2020.
- FURTADO, R. N.*et al.* Fermentative losses and chemical composition of elephant grass silage added with castor bean hull. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 50, n. 1, p. 140-147, 2019.
- GOERING, H. K., VAN SOEST, P. J. Forage fiber analyses (apparatus, reagents, procedures and some applications). *Agriculture Handbook*. **Agricultural Research Service – USDA**, Washington, DC, 1970.
- GOMES, A. L. M. *et al.* Effects of Obligate Heterofermentative Lactic Acid Bacteria Alone or in Combination on the Conservation of Sugarcane Silage. **Front Microbiol.** Suíça, p. 1-9. maio 2021.
- HU, R.G. *et al.* 2002. Bioactivities of ricin retained and its immunoreactivity to anti-ricin polyclonal antibodies alleviated through pegylation. *The International Journal of Biochemistry & Cell Biology*, 34:396–402.
- ITAVO, L.C. V. *et al.* Composição química e parâmetros fermentativos de silagens de capim-elefante e cana-de-açúcar tratadas com aditivos. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador, v. 11, n. 3, p. 606-617, 2010.

- JOBIM, C. C. *et al.* Avanços metodológicos na avaliação da qualidade da forragem conservada. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.36, suplemento especial, p.101-119, 2007.
- KUNG JR., L. Preparation of silage water extracts for chemical analyses. Standard operating procedure – 001 2.03.96. Worrilow: University of Delaware, Ruminant Nutrition Laboratory, 1996. 309p.
- KUNG, L.; RANJIT, N. K. The effect of lactobacillus buchneri and other additives on the fermentation and aerobic stability of barley silage. **Journal of Dairy Science**, v. 84, n. 5, p. 1149-1155, 2001.
- LICITRA, G.; HERNANDEZ, T.M.; VAN SOEST, P.J. Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. **Animal Feed Science and Technology**, v.57, n.4, p.347-358, 1996.
- LOPES, J.; EVANGELISTA, A.R. Características bromatológicas, fermentativas e população de leveduras de silagens de cana-de-açúcar acrescidas de ureia e aditivos absorventes de umidade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 39, n. 5, p. 984-991, 2010.
- MACÊDO, A.J.S.; *et al.* Potencialidades e limitações de plantas forrageiras para ensilagem: Revisão de literatura. **Revista Brasileira de Higiene e Sanidade Animal**, [s. l], v. 15, n. 1, p. 1-17, jan. 2021.
- MCDONALD, P; HENDERSON, AR; HERON, SJE (eds). 1991. The biochemistry of silage (2nd edn). Marlow Bottom: Chalcombe Publications.
- MENDONÇA, S.S. *et al.* Consumo, Digestibilidade Aparente, Produção e Composição do Leite e Variáveis Ruminais em Vacas Leiteiras Alimentadas com Dietas à Base de Cana-de-Açúcar¹. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 33, n. 2, p. 481-492, 2004.
- MERTENS, D.R. Gravimetric determination of amylase-treated neutral detergent fiber in feeds with refluxing in beaker or crucibles: collaborative study. **Journal of AOAC International**, v.85, p1217-1240, 2002.
- MIZUBUTI, I. Y *et al.* Métodos laboratoriais de avaliação de alimentos para animais. Londrina: Eduel, v. 1, 2009.
- MUCK, R. E.; KUNG JR, L. Silage production. **Forages: the science of grassland agriculture**, v. 2, p. 617-633, 2007.
- Muck, R.E. 2010. Silage microbiology and its control through additives. **Revista Brasileira de Zootecnia** 39:183-191.
- OLIVEIRA, A.S. *et al.* 2010. In vitro ruminal degradation of ricin and its effect on microbial growth. **Animal Feed Science and Technology**, 1/2, 41–54p.

OLIVEIRA, A. C. *et al.* Chemical composition and fermentation characteristics of sugar cane silage enriched with detoxified castor bean meal. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 67, n. 1, p. 181-188, 2015.

PAULINO, A.S. *et al.* Influence of increased doses of detoxified castor bean meal on chemical composition and characteristics of sugarcane silage. **Chilean Journal of Agricultural Research**. Chile, p. 503-510. set. 2018.

RAMOS, C. L. *et al.* **Diversity of bacteria and yeast in the naturally fermented cotton seed and rice beverage produced by Brazilian Amerindians**. Food Microbiology, v. 28, n. 7, p. 1380-1386, 2011.

RIBEIRO, L.S.O., *et al.* 2014. Fermentation characteristics, chemical composition and fractionation of carbohydrates and crude protein of silage of elephant grass wilted or with addition of castor bean meal. **Semina: Ciências Agrárias** 35:1447-1462.

ROBERTSON, J. B., P. J. VAN SOEST. The detergent system of analysis and its application to human foods. Pages 123–158 in *The Analysis of Dietary Fiber in Food*. W. P. T. James and O. Theander, ed. Marcel Dekker Inc., New York, NY, 1981.

ROCHA, W.J.B. *et al.* Fermentative characteristics of sugar cane silages with additives. **Rev. Bras. Saúde Prod. Animal**, Salvador, v. 15, n. 4, p. 801-814, dez. 2014.

SANTOS, K. C. *et al.* Common bean residue as additive in sugarcane silage. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 49, n. 1, p. 159-166, mar. 2018.

SANTOS, P.A. *et al.* 2013. Farelo de mamona na alimentação de ruminantes. **Revista Eletrônica Nutritime**, 10:2814-2827.

SANTOS, W. C. C. *et al.* Nutritive value, total losses of dry matter and aerobic stability of the silage from three varieties of sugarcane treated with commercial microbial additives. **Animal Feed Science and Technology**, v. 204, p. 1–8, 2015.

SANTOS, A. P. M. *et al.* Effects of urea addition on the fermentation of sorghum (*Sorghum bicolor*) silage. **African Journal of Range and Forage Science**, v. 35, n. 1, p. 55–62, 2018.

SEVERINO, L.S. O que sabemos sobre a torta de mamona. Campina Grande, PB: Embrapa Algodão, 2005, 31p. (Embrapa Algodão. Documentos, 134).

SEVERINO, L.S.; MILANI, M.; BELTRÃO, N. E. M. (Ed.). Mamona: o produtor pergunta, a Embrapa responde. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Campina Grande: Embrapa Algodão, 2006. 248p. il. (Coleção 500 perguntas, 500 respostas).

SILVA, M.S. *et al.* 2012. Utilização de metodologia de planejamento experimental para destoxicação do farelo de mamona (*Ricinus communis* L.) em secador elétrico de bandeja. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, 14:167-176.

- SILVA, T. C. *et al.* **Importance of the Fermentation to Produce High-Quality Silage.** Fermentation Processes. [S.l.]: InTech, 2017. p. 1–20. Disponível em: <https://www.intechopen.com/books/advances-in-silage-production-and-utilization>. Acesso em 01 de julho de 2020.
- SILVA, T. C. *et al.* POPULAÇÕES MICROBIANAS, PERFIL FERMENTATIVO E COMPOSIÇÃO DE SILAGENS DE CAPIM-ELEFANTE COM JACA. **Archivos de Zootecnia**, Córdoba, v. 60, p. 247-255, 2011.
- SILVA, V.L. *et al.* Cana energia e produção de silagem como estratégia para alimentação animal. *Vet. e Zootec.* 2020.; 27: 001-013.
- SIQUEIRA, G. R. Óxido de cálcio e *Lactobacillus buchneri* NCIMB 40788 na ensilagem de cana-de-açúcar in natura ou queimada. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 40, n. 11, p. 2347-2358, 2011.
- SNIFFEN, C.J.; *et al.* A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability. **Journal of Animal Science**, v.70, n.11, p.3562-3577, 1992.
- STATISTICAL ANALYSIS SYSTEMS. **SAS user's guide**: statistics, version 9,0. Cary, NC, USA: SAS Institute inc., 2002.
- TAYLOR, C.C.; KUNG JR., L. The effect of *Lactobacillus buchneri* 40788 on the fermentation and aerobic stability of high moisture corn in laboratory silos. **Journal of Dairy Science**, v.85, p.1526-1532, 2002.
- WANG, HUILI *et al.* Characterization of culturable yeast species associating with whole crop corn and total mixed ration silage. **Asian-Australasian Journal Of Animal Sciences**, Coréia, v. 31, n. 2, p. 198-207, 2018.
- WANG, TIANWEI *et al.* Effects of *Lactobacillus hilgardii* 60TS-2, with or without homofermentative *Lactobacillus plantarum* B90, on the aerobic stability, fermentation quality and microbial community dynamics in sugarcane top silage. **Bioresource Technology**, New York, v. 312, p. 1-9, maio 2020.
- ZANINE, A.M. *et al.* Evaluation of elephant grass silage with the addition of cassava scrapings. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, n.12, 2010.
- ZHANG, LU *et al.* Analysis of the correlation between bacteria and fungi in sugarcane tops silage prior to and after aerobic exposure. **Bioresource Technology**, New York, v. 291, p. 1-8, jul. 2019.