

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

**FARELO DE MAMONA DESTOXIFICADO NA ENSILAGEM DE CANA-DE-
AÇÚCAR**

Aryane da Silva Paulino

Zootecnista

RIO LARGO – ALAGOAS – BRASIL

Fevereiro de 2017

ARYANE DA SILVA PAULINO

**FARELO DE MAMONA DESTOXIFICADO NA ENSILAGEM DE CANA-DE-
AÇÚCAR**

Orientador: Prof. Dr. Vitor Visintin Silva de Almeida

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

RIO LARGO – ALAGOAS – BRASIL

Fevereiro de 2017

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecária Responsável: Helena Cristina Pimentel do Vale

P328f Paulino, Aryane da Silva.
Farelo de mamona destoxificado na ensilagem de cana-de-açúcar / Aryane da Silva Paulino. – 2017.
71 f. : il.grafs.

Orientador: Vítor Visintin Silva de Almeida.

Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Alagoas. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Zootecnia. Rio Largo, 2017.

Inclui bibliografia.

1. Biodiesel. 2. Ensilagem. 3. Farelo de mamona. 4. Resíduo sólido. 5. *Saccharum officinarum*. 6. Silagem. I. Título.

CDU: 636.085.52

TERMO DE APROVAÇÃO

ARYANE DA SILVA PAULINO

FARELO DE MOMONA DESTOXIFICADO NA ENSILAGEM DE CANA-DE- AÇÚCAR

Esta dissertação foi submetida a julgamento como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Zootecnia, outorgado pela Universidade Federal de Alagoas.

A citação de qualquer trecho desta dissertação é permitida, desde que seja feita de conformidade com as normas da ética científica.

Aprovado em 24/02/2017



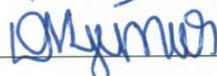
Prof. Dr. Vitor Visintin Silva DE Almeida

Orientador (CECA/UFAL)



Profª. Drª. Aline Cardoso Oliveira

Membro (ARAPIRACA/UFAL)



Prof. Dr. Dorgival Moraes de Lima Júnior

Membro (ARAPIRACA/UFAL)



Profª. Drª. Hellen Cardoso Oliveira

Membro (PND/UFV)

Rio Largo – AL

2017

Ao meu avô **Ademar Serapião** *in memoriam*,

À minha mãe **Luiza Santos**,

Ao meu filho, o grande amor da minha vida **Heitor...**

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Deus, pelo dom da vida, pelas graças concedidas, pela força que me dá para seguir sempre em frente, me mostrando o melhor caminho.

Aos meus irmãos Adriano, Ademar e Aldo, que estão sempre do meu lado, me incentivando em todas as minhas decisões e me fortalecendo com todo amor e carinho dedicado, estando perto ou longe. E sobrinhos João Miguel e Raul Pedro.

À minha cunhada Mayara (in memoriam), por ter sido como uma irmã, e grande amiga. Me apoiando e sempre abrindo as portas quando precisava.

Aos meus tios Manoel e José Paulo e tia Rozineide por sempre estarem me incentivando nessa jornada.

Às minhas grandes amigas Luana Lira e Larissa Ribeiro, pelas conversas e companheirismo de sempre.

Aos meus novos colegas e amigos Filipe Cavalcante, Filipe Correia, Kleber Nunes, Fábio Francisco, Aila Fabiane e Petrônio, pelas conversas e descontração entre uma aula e outra.

À Universidade Federal de Alagoas e ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, pela oportunidade concedida para cursar a Pós-Graduação.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pelo recurso financeiro recebido durante a realização do curso de mestrado.

Aos colegas (irmãos de orientação, como dizem) Jorge Oliveira, Patrícia, Kaline, Shayane, Yara, e aos demais: Fátima, Samira, Waldonys, Eduardo pelo apoio no desenvolvimento do experimento, e durante o período de análises. Sem vocês eu não teria realizado esse projeto. Muito obrigada!!!!

Aos amigos Pedro Garcia (CECA), Felipe Jackson (UFAL/CAMPUS ARAPIRACA), pelo apoio no desenvolvimento das análises laboratoriais.

Ao meu orientador Professor Vitor Visintin Silva de Almeida pela paciência, orientação, amizade, ensinamentos e críticas empregadas durante o período Pós-Graduação.

A Professora Aline Cardoso Oliveira pelas ajuda e dicas durante o desenvolvimento do projeto e da dissertação.

Aos professores do PPGZ do Centro de Ciências Agrárias/UFAL: Mauro Wagner, Roger Bellen, Patrícia Mendes, Fernando, Teodorico e Dorgival pelos conhecimentos transmitidos, pela amizade e dedicação em cada aula.

À usina Paise (Penedo/AL) pela doação da cana-de-açúcar já processada que foi utilizada no experimento.

Ao Laboratório de Nutrição Animal do CECA e às estagiárias pelo apoio no desenvolvimento das análises.

Ao amigo Flávio André (veterano), que me auxiliou no desenvolvimento de algumas análises laboratoriais, dividindo comigo seus conhecimentos e tempo.

E a todos os que aqui não citei, mas que de forma direta ou indireta, contribuíram para que eu concluísse esse projeto, meus sinceros agradecimentos!

*“A alegria está na luta, na tentativa, no sofrimento envolvido.
Não na vitória propriamente dita.”
(Mahatma Gandhi).*

SUMÁRIO

1. CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	11
1.1 Cana-de-açúcar	11
1.1.1 Silagem da cana-de-açúcar	12
1.1.2. Uso de aditivos na silagem de cana-de-açúcar.....	13
1.2. Farelo de mamona como aditivo na silagem da cana-de-açúcar	14
VALOR NUTRICIONAL, FRACIONAMENTO DE CARBOIDRATOS E PROTEÍNAS E PERDAS DE SILAGEM DE CANA-DE-AÇÚCAR ADITIVADAS COM NÍVEIS CRESCENTES DE INCLUSÃO DE FARELO DE MAMONA DESTOXIFICADO	16
RESUMO –.....	16
NUTRITIONAL VALUE, CARBOHYDRATE AND PROTEIN FRACTIONATION AND LOSSES OF SUGARCANE SILAGE ADDITIVATED WITH INCREASING INCLUSION LEVELS OF DETOXIFIED CASTOR BEAN MEAL.....	17
ABSTRACT	17
Keywords: biodiesel, effluent, silage, residue, <i>Saccharum officinarum</i>	17
2. INTRODUÇÃO.....	18
3. MATERIAL E MÉTODOS	20
3.1. Processamento das amostras e análises laboratoriais.....	21
3.2. Fracionamento de carboidratos e proteínas	22
3.3. Digestibilidade in vitro da matéria seca	23
3.4. Matéria seca indigestível (MSi) e fibra em detergente neutro indigestível (FDNi).....	23
3.5. Estimativa dos teores dos nutrientes digestíveis totais (NDT).....	24
3.6. Perdas	24
3.7. Análise estatística.....	25
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
5. CONCLUSÕES.....	43
ESTABILIDADE AERÓBIA DE SILAGENS DE CANA-DE-AÇÚCAR ADITIVADAS COM DIFERENTES NÍVEIS DE FARELO DE MAMONA DESTOXIFICADO	44
RESUMO.....	44
Palavras-chave.....	44
AEROBIC STABILITY OF SUGARCANE SILAGES SUPPLEMENTED WITH DIFFERENT LEVELS OF DETOXIFIED CASTOR BEAN MEAL	45
ABSTRACT	45
6. INTRODUÇÃO.....	46
7. MATERIAL E MÉTODOS	47
7.1. Avaliação da estabilidade aeróbia	48

7.2. Análise estatística.....	49
8. RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
9. CONCLUSÕES.....	64
10. IMPLICAÇÕES	65
11. REFERÊNCIAS	66

1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

O atual cenário da matriz energética nacional vislumbra uma participação ascendente dos biocombustíveis e da cana-de-açúcar na produção de energia. Dentre as espécies indicadas para a produção de biodiesel, a mamoneira (*Ricinus communis* L.) destaca-se no Nordeste do Brasil, apresentando-se como alternativa de grande importância econômica e social pela capacidade de produzir em condições de baixa precipitação pluviométrica, além de apresentar um bom mercado consumidor, podendo ser consorciada com outras culturas, constituindo excelente opção para a agricultura familiar (FURTADO et al., 2012).

Atualmente, o Brasil é um dos países que se destaca na produção mundial do biodiesel, estando em segundo lugar no ranking mundial. Levando em consideração a adição de 5% de biodiesel ao diesel no início de 2010, e observando que os percentuais de mistura tem se antecipado aos prazos previstos na Lei, GENTIL et al., (2012) já previam que a redução na importação de diesel seria ainda mais expressiva, de forma a demandar a produção de bilhões de litros de biodiesel nos anos seguintes, com consequente aumento da produção de resíduos, sendo necessário providenciar um destino adequado para todo o resíduo produzido. De 2014 a 2015, houve um aumento de 15% na produção nacional de biocombustível, em um total de quase 4 bilhões de litros (CANAL BIOENERGIA, 2016).

Em função da produção do biodiesel, para cada tonelada de sementes de mamona são produzidos aproximadamente 550 kg de torta de mamona (BUENO et al., 2014). A quantidade de farelo pode ser ainda maior, uma vez que o método de extração do óleo por solvente é ainda mais eficiente. Uma alternativa importante é a utilização desses resíduos na alimentação animal, principalmente na região do semiárido brasileiro, devido às constantes estiagens (MENEZES et al., 2015). Entretanto, a presença de princípios tóxicos e alergênicos, normalmente presentes nos resíduos do biodiesel, tem dificultado sua utilização como alimentos alternativos.

1.1 *Cana-de-açúcar*

A cana-de-açúcar é uma planta da família das gramíneas, espécie *Saccharum officinarum*, originária da Ásia Meridional, muito cultivada em países tropicais e subtropicais para obtenção do açúcar, do álcool e da aguardente.

Essa forrageira apresenta um importante papel para o desenvolvimento socioeconômico do agronegócio, e é considerada uma das principais culturas da economia brasileira (BRASIL, 2015), sendo a maior parte destinada à produção do etanol. O Brasil é o maior produtor de cana do mundo e também, o primeiro na produção de açúcar e etanol e conquista, cada vez mais, o mercado externo com o uso do biocombustível como alternativa energética (ABREU e NASCIMENTO, 2016). A região Nordeste é responsável por 11% da produção, e por unidade da Federação, Alagoas produz 4% do total (CONAB, 2015). De toda a área utilizada na produção da cana-de-açúcar, cerca de 10% é direcionada para a produção animal. Esta cultura chama atenção de pecuaristas para ser utilizada na alimentação animal, por apresentar um alto potencial para a produção de matéria seca e energia por unidade de área, além de capacidade para manter o potencial energético durante o período seco do ano. E é muito utilizada como reserva estratégica alimentar durante esse período.

1.1.1. Silagem da cana-de-açúcar

Na última década, a preservação da cana-de-açúcar como silagem despertou o interesse dos pesquisadores e produtores devido aos benefícios na logística e operacionalidade desta técnica (MARTINS et al., 2015). No processo de ensilagem, o princípio de conservação é a redução do pH (aumento da acidez) pela fermentação dos carboidratos solúveis da planta em água. O objetivo é fornecer alimento durante os períodos de escassez, quando a taxa de crescimento das plantas forrageiras não atende a necessidade dos animais (WILKINS et al., 2015). Essa forrageira possui características favoráveis para a ensilagem, como o teor de carboidratos solúveis, em torno de 20,5 a 40%, baixo poder tamponante, apresentando aproximadamente 5g de ácido láctico/kg de matéria seca além um adequado teor de matéria seca, 26,1 a 33% (CRUZ et al., 2014; CUSTÓDIO, 2013). Entretanto, a quantidade de carboidratos solúveis presente na forrageira, a torna susceptível ao ataque de leveduras, que são os microrganismos responsáveis pela fermentação alcoólica e consequente perda de material na forma de CO₂ e H₂O. Essa cultura apresenta uma expressiva população epifítica de leveduras, que chega a representar 12% da população microbiana total (SOUZA et al., 2016).

Na ensilagem da cana-de-açúcar, o padrão de fermentação é caracterizado pela alta produção de etanol, pela atividade de leveduras, principalmente, e elevado desaparecimento de carboidratos solúveis, o que pode ocasionar perdas de matéria seca, redução no valor nutritivo e elevada produção de efluente (CAVALI et al., 2010). Além desta via, a produção de efluentes e a perda por água que resulta de reações metabólicas também são responsáveis pela diminuição no teor de MS (McDONALD et al., 1991). Com as perdas de matéria seca, através da fermentação dos carboidratos solúveis, os constituintes fibrosos se elevam proporcionalmente, ao tempo em que reduz a digestibilidade da matéria seca. A presença de etanol, por sua vez, pode reduzir o consumo voluntário de silagem pelos animais e aumenta as perdas em decorrência de sua volatilização (CARVALHO et al., 2014).

1.1.2. Uso de aditivos na silagem de cana-de-açúcar

As pesquisas com aditivos têm sido realizadas a fim de se obter informações sobre técnicas que modifiquem o processo fermentativo da cana-de-açúcar ensilada, com intenção de obter fermentação láctica, que tem pequena perda energética, em vez da fermentação alcoólica, mais frequentemente encontrada, isso através do uso de aditivos que sejam capazes de diminuir a população de leveduras, de forma a melhorar o processo fermentativo e controlar perdas que podem ocorrer tanto no armazenamento quanto na exposição da silagem de cana-de-açúcar (CARVALHO et al., 2014; MARTINS et al., 2015; QUEIROZ et al., 2015).

Os principais aditivos utilizados na ensilagem da cana-de-açúcar são os aditivos químicos e microbianos. O uso de aditivos alcalinizantes nas silagens de cana-de-açúcar tem se mostrado promissor, por reduzir os níveis de fibra, o que é uma característica nutricionalmente favorável à ingestão de animais, uma vez que a cana-de-açúcar tem baixa degradabilidade (ROMÃO et al., 2013).

A justificativa para a adoção de um aditivo deverá considerar seu custo, em contraste ao benefício a ser alcançado. Todavia, nem sempre o uso de aditivos vem acompanhado de melhora no desempenho de animais recebendo silagens tratadas. Entretanto, mesmo que isso não aconteça, apenas se o aditivo for capaz de alterar o padrão de fermentação das silagens, reduzindo as perdas totais e aumentando a recuperação de matéria seca de forma economicamente viável, sua utilização se tornará justificável.

Embora os trabalhos com a utilização de aditivos sequestrantes de umidade na silagem da cana-de-açúcar ainda não seja frequentemente estudado, observa-se por parte de alguns pesquisadores interesse em investigar seus efeitos na silagem. Além do tipo de fermentação alcoólica, a cana-de-açúcar apresenta baixo teor de proteína, de minerais e possui fibra de baixíssima qualidade (SIQUEIRA et al., 2012). A escolha do aditivo para a silagem dessa forrageira deve ser feita levando em conta estes pontos, principalmente. Aditivos sequestrantes de umidade podem corrigir a MS da silagem, e alguns materiais fornecem carboidratos solúveis e estimulam a fermentação. Quanto maior a qualidade do aditivo sequestrante usado, menor o teor de FDN e maior a digestibilidade da MS, o que leva ao maior consumo e desempenho de ruminantes (SCHMIDT et al., 2014).

LOPES e EVANGELISTA (2010) avaliaram os aditivos: ureia, exclusiva ou associada aos aditivos absorventes milho e mandioca desidratada; além de amireia e da cana-de-açúcar controle. Esses autores observaram que o maior teor de MS e o menor teor FDN foram obtidos com a associação de ureia e milho, com reflexos positivos sobre o padrão fermentativo da silagem. Esse tratamento (0,5 de ureia + 4% de milho) foi associado à inibição do crescimento de leveduras, todavia o mesmo não foi observado quando a ureia estava associada à mandioca desidratada.

MAEDA et al., 2011 utilizaram casca de soja + inoculante e farelo de mandioca + inoculante na silagem de cana-de-açúcar e não encontraram diferença ($P < 0,05$) nas perdas totais, por gases e efluente. E RODRIGUES et al., 2015 adicionaram diferentes aditivos (fubá de milho – 10% MN, melado – 10% MN, ureia – 2% MN e inoculante microbiano 2g L⁻¹ de água utilizando 2L de solução por tonelada ensilada) e não encontraram diferenças ($P < 0,05$) nas perdas de MS.

1.2. Farelo de mamona como aditivo na silagem da cana-de-açúcar

A utilização de resíduo do biodiesel como o farelo de mamona caracteriza-se como alternativa interessante, uma vez que a produção dessa oleaginosa tem sido cada vez mais incentivada pela política nacional. Além disso, umas das limitações na utilização da cana-de-açúcar são os baixos teores de proteína, limitação esta que seria facilmente corrigida com a utilização desse resíduo proteico. O farelo da mamona (*Ricinus communis* L.) é o resíduo originado da extração do óleo das sementes desta oleaginosa por solvente. Este resíduo apresenta potencial para ser

utilizado em rações de ruminantes por apresentar 90,7% de matéria seca; 91,66% de matéria orgânica; 35,78% de proteína bruta, podendo conter 35,6% de nitrogênio insolúvel em detergente neutro e 6,75% de nitrogênio insolúvel em detergente ácido (com base no nitrogênio total); 46,13% de carboidratos totais, 8% de carboidratos não fibrosos, 38% de fibra em detergente neutro e 30,45% de fibra em detergente ácido, 1,7 de extrato etéreo, 4,69% de lignina e 21,24% de cutina (COBIANCHI et al., 2012; DINIZ et al., 2010).

O fator limitante para o uso do farelo de mamona na alimentação animal é a presença da ricina, que é o principal composto tóxico presente na mamona e exerce seu mecanismo de toxidez por meio da inibição da síntese de ribossomos, consequentemente, a síntese proteica intracelular cessa, causando a morte da célula. Durante o processo de extração do óleo da semente da mamona para a obtenção do biodiesel, a ricina permanece na torta ou no farelo, uma vez que esta não apresenta solubilidade em lipídeos (OLIVEIRA et al., 2010a). A destoxificação do farelo de mamona pode ser capaz de destruir completamente a ricina e, dessa forma, o seu uso em dietas para ruminantes torna-se seguro. Entretanto, o processo de destoxificação pode reduzir os teores de nutrientes, principalmente de proteínas, decrescendo a qualidade nutricional das dietas que compõem o farelo (MENEZES et al., 2015).

Considerando que um dos principais problemas da ensilagem da cana-de-açúcar é a fermentação alcoólica decorrente da alta população epifítica de leveduras que levam a perdas expressivas no processo e que as condições de temperatura e pH são alterados durante todo processo fermentativo, vislumbra-se por meio da utilização do farelo de mamona destoxificado, a melhoria da qualidade do volumoso produzido para alimentar os animais.

Objetivou-se com este trabalho avaliar a composição bromatológica, pH, perdas de matéria seca e estabilidade aeróbia de silagens de cana-de-açúcar aditivadas com diferentes níveis de farelo de mamona destoxificado.

VALOR NUTRICIONAL, FRACIONAMENTO DE CARBOIDRATOS E PROTEÍNAS E PERDAS DE SILAGEM DE CANA-DE-AÇÚCAR ADITIVADAS COM NÍVEIS CRESCENTES DE INCLUSÃO DE FARELO DE MAMONA DESTOXIFICADO

RESUMO – Objetivou-se com esse trabalho avaliar os efeitos de diferentes níveis de inclusão de farelo de mamona destoxificado sobre a composição químico-bromatológica, digestibilidade *in vitro* da matéria seca, matéria seca indigestível, fibra em detergente neutro indigestível, fracionamento de carboidratos e proteínas, pH, nitrogênio amoniacal, perdas de matéria seca e estabilidade aeróbia de silagens de cana-de-açúcar. Foram avaliadas cinco concentrações de farelo de mamona destoxificado (0, 5, 10, 15 e 20% da matéria natural), em um delineamento inteiramente casualizado com cinco repetições cada. O material foi ensilado em baldes plásticos, com 32 cm de altura e 88 cm de diâmetro, com tampas providas de válvula de Bunsen para saída de gases oriundos da fermentação e com 3 kg de areia no fundo para drenagem do efluente. Os silos foram abertos após o período de 60 dias de ensilagem e amostras foram colhidas para determinação dos teores de matéria seca (MS), de proteína bruta (PB), de fibra em detergente neutro corrigido para cinzas e proteínas (FDN_{cp}) e fibra em detergente ácido (FDA), de hemicelulose (Hem), celulose (Cel), lignina (Lig), extrato etéreo (EE), fracionamento de carboidratos e proteínas, digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS), nutrientes digestíveis totais (NDT), valores de pH, nitrogênio amoniacal (N-NH₃), perdas de matéria seca total (PT), por gases (PG) e por efluentes (PE) e estabilidade aeróbia. A adição do farelo de mamona elevou os teores de MS, PB, LIG, DIVMS e pH, e reduziu os teores de FDN, FDA, MS_i, N-NH₃ e NDT. Houve redução dos carboidratos totais e fração B2 e elevação das frações A+B1 e C. Com adição do farelo de mamona a proteína bruta aumentou, não houve diferença nas médias da fração A do NT, as frações B1+B2 reduziram, enquanto houve aumento nas frações B3 e C. A adição de 15% de farelo de mamona destoxificado melhora o valor nutritivo da silagem de cana-de-açúcar, pois eleva o teor de proteína bruta, melhora as frações de carboidratos de rápida degradação e reduz a matéria seca indigestível. O farelo de mamona adicionado à silagem de cana-de-açúcar é eficiente na redução do nitrogênio amoniacal e das perdas de matéria seca. A quebra de estabilidade com adição de farelo de mamona ocorre entre 30 e 50 horas de exposição aeróbia.

PALAVRAS-CHAVE: biodiesel, efluente, ensilagem, resíduo, *Saccharum officinarum*.

NUTRITIONAL VALUE, CARBOHYDRATE AND PROTEIN FRACTIONATION AND LOSSES OF SUGARCANE SILAGE ADDITIVATED WITH INCREASING INCLUSION LEVELS OF DETOXIFIED CASTOR BEAN MEAL

ABSTRACT – The objective of this work was to evaluate the effects of different levels of inclusion of detoxified castor bean on the chemical-bromatological composition, *in vitro* dry matter digestibility, indigestible dry matter, indigestible neutral detergent fiber, carbohydrate and protein fractionation, pH, ammoniacal nitrogen (N-NH₃), dry matter losses and aerobic stability of sugarcane silages. Five concentrations of detoxified castor bean meal (0, 5, 10, 15 and 20% of natural matter) were evaluated in a completely randomized design with five replicates each. The material was ensiled in plastic buckets, 32 cm high and 88 cm in diameter, with caps equipped with a Bunsen valve for the exit of gases from the fermentation and with 3 kg of sand in the bottom to drain the effluent. The silos were opened after 60 days of silage and samples were collected to determine the dry matter (DM), crude protein (CP), neutral detergent fiber corrected for ash and protein (NDFap) and acid detergent fiber (ADF), total digestible nutrients (TDN), *in vitro* dry matter digestibility (IVDDM), pH values, ammoniacal nitrogen (N-NH₃), total dry matter losses (TL), gases losses (GL), effluent losses (EL) and aerobic stability. The addition of castor bean increased the contents of DM, CP, LIG, IVDDM and pH, and reduced the contents of NDF, ADF, indigestible dry matter, N-NH₃ and TDN. There was reduction of total carbohydrates and fraction B2 and elevation of fractions A + B1 and C. With the addition of castor bean crude protein increased, there was no difference in the means of fraction A of TN, the fractions B1 + B2 reduced, while there was increase in fractions B3 and C. The addition of 15% of detoxified castor bean meal improves the nutritive value of sugarcane silage, as it increases the crude protein content, improves the fractions of carbohydrates of rapid degradation and reduces the indigestible dry matter. The castor bean meal added to sugarcane silage is efficient in reducing ammoniacal nitrogen and dry matter losses. The stability break with addition of castor bean meal occurs between 30 and 50 hours of aerobic exposure.

Keywords: biodiesel, effluent, silage, residue, *Saccharum officinarum*.

2 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) é uma forrageira bastante utilizada entre os produtores, por apresentar uma alta produtividade de forragem fresca (80 t/ha). Entretanto, essa gramínea possui um fator limitante que é o baixo teor de proteína bruta, variando de 1,9 a 3,3% da MS (CARVALHO et al., 2010; SCHMIDT et al., 2011) e minerais, necessitando de adição de uma fonte proteica suplementar. O fornecimento diário da cana-de-açúcar picada é muito comum, o que demanda maior necessidade de mão de obra. A ensilagem é uma solução operacional que além de reduzir mão de obra, possibilita rebrota mais uniforme e maior eficiência dos tratamentos culturais, e reduz os riscos de perdas por fogo ou geada. Porém, a silagem de cana-de-açúcar apresenta padrão de fermentação caracterizado pela alta produção de etanol, pela atividade de leveduras, principalmente, e elevado desaparecimento de carboidratos solúveis, o que pode ocasionar perdas de matéria seca, redução no valor nutritivo e elevada produção de efluente (CAVALI et al., 2010). A população de leveduras no caule da cana-de-açúcar chega a representar 12% da população microbiana total (SOUZA et al., 2016). A maioria dos trabalhos feitos com ensilagem tem o intuito de reduzir as perdas, através do uso de aditivos que sejam capazes de diminuir a população desses microrganismos.

A mamona (*Ricinus communis* L.) é uma oleaginosa que apresenta várias aplicações industriais como tintas, vernizes, cosméticos, lubrificantes, plásticos etc., estando disponível para produção de biodiesel (GENTIL et al., 2012). A mamoneira destaca-se no Nordeste brasileiro pela capacidade de produzir em condições de baixa precipitação pluviométrica e constitui excelente opção para a agricultura familiar (FURTADO et al., 2012). A produção de biodiesel, incluindo a extração do óleo da mamona, produz como resíduos a casca, a torta e o farelo. Entre estes, podemos destacar o farelo que é obtido através da extração do óleo por solvente e apresenta potencial para ser utilizado em rações de ruminantes por apresentar 90,7% de matéria seca; 91,66% de matéria orgânica; 35,78% de proteína bruta, podendo conter 35,6% de nitrogênio insolúvel em detergente neutro e 6,75% de nitrogênio insolúvel em detergente ácido (com base no nitrogênio total); 46,13% de carboidratos totais, 8% de carboidratos não fibrosos, 38% de fibra em detergente

neutro e 30,45% de fibra em detergente ácido, 1,7 de extrato etéreo, 4,69% de lignina e 21,24% de cutina (COBIANCHI et al., 2012; DINIZ et al., 2010).

De acordo com o Sistema de Cornell (CNCPS – Cornell Net Carbohydrate and Protein System), os alimentos são subdivididos conforme suas características químicas e físicas, de degradação ruminal e digestibilidade pós-rúmen, a fim de minimizar as perdas de nutrientes, e gerando informações que podem ser utilizadas para estimar o valor nutricional, o consumo e o desempenho animal (SNIFFEN et al., 1992). A fermentação ruminal e a digestão pós-ruminal dependem da concentração total de carboidratos e proteínas na dieta e de suas taxas de degradação. Portanto, para adequada caracterização dos alimentos, os nutrientes devem ser fracionados (SNIFFEN et al., 1992).

Objetivou-se com este trabalho avaliar o valor nutricional, pH, N-NH₃ e fracionamento de carboidratos e proteínas de silagens de cana-de-açúcar aditivadas com diferentes níveis de adição de farelo de mamona destoxificado e seu efeito sobre as perdas da ensilagem.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na Universidade Federal de Alagoas – *Campus Arapiraca*, localizado no município de Arapiraca – AL. A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum L.*) utilizada foi da variedade RB07312, a qual foi colhida aos 18 meses de idade. A colheita foi realizada no dia 10 de abril de 2015, sem queima, e processada em picadeira estacionária, com intuito de obter partículas com tamanho médio de 2 cm. Após o processamento, a cana foi revirada e homogeneizada, posteriormente, foi ensilada sem a utilização do aditivo e com a inclusão do farelo de mamona destoxificado (FMD), em níveis de 5, 10, 15 e 20%, com base na matéria natural, em delineamento inteiramente casualizado com 5 repetições.

O farelo de mamona utilizado foi adquirido da BIO ÓLEO, localizada na região metropolitana de Salvador/BA. O mesmo foi destoxificado previamente através do uso de solução de hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2), onde cada 1kg de Ca(OH)_2 foi diluído em 10 litros de água, e aplicado na quantidade de 60g de cal por kg de farelo, na base da matéria natural, conforme recomendado por OLIVEIRA et al. (2007). Após a mistura do farelo de mamona com a solução de cal, o material permaneceu em repouso por um período de 12 horas, posteriormente, foi feito a secagem por meio de exposição ao sol.

Depois de misturada a cana-de-açúcar a quantidade de FMD correspondente a cada nível de inclusão, na base da matéria natural (peso/peso), o material foi armazenado durante 60 dias em baldes plásticos, com 32 cm de altura e 88 cm de diâmetro, com tampas providas de válvula de Bunsen, para saída de gases oriundos da fermentação. Foi também utilizado 3,0 kg de areia fina no fundo de cada silo, para drenar o efluente gerado, e uma tela para separar a areia da silagem. Amostras *in natura* da cana-de-açúcar e do farelo de mamona destoxificado foram coletadas para a determinação da composição bromatológica (Tabela 1). A compactação foi realizada de modo a se obter densidade de 600 kg.m^{-3} , e os silos foram vedados e pesados e foram armazenados por um período de 60 dias.

Tabela 1 – Composição bromatológica do farelo de mamona destoxificado (FMD) e de silagens de cana-de-açúcar aditivadas ou não com FMD antes da ensilagem.

Variável	FMD	Níveis de farelo de mamona (% MN)				
		0	5	10	15	20
Matéria seca	92,52	27,59	27,96	30,81	32,49	34,75
Matéria mineral	12,42	1,70	3,77	5,22	6,15	7,89
Proteína bruta	44,84	2,66	8,51	12,37	14,70	21,66
Fibra em detergente neutro corrigido para cinzas e proteína	37,52	45,57	48,89	46,85	47,38	48,06
Hemicelulose	4,62	7,19	9,78	8,74	8,83	9,01
Celulose	12,18	36,31	38,03	35,26	34,88	30,60
Extrato etéreo	2,70	1,49	1,40	1,59	2,22	2,39
Fibra em detergente ácido	35,90	41,31	43,57	39,52	42,40	40,14
Lignina (%)	30,09	7,84	10,85	12,54	15,98	18,33
Nitrogênio insolúvel em detergente neutro	2,97	0,62	0,79	1,11	1,37	1,75
Nitrogênio insolúvel em detergente ácido	2,00	0,18	0,57	0,82	1,08	1,43
Nitrogênio insolúvel em detergente neutro (% PB)	35,48	45,15	57,70	56,03	58,34	50,43
Nitrogênio insolúvel em detergente ácido (%PB)	23,86	42,46	41,90	41,20	45,74	41,29
Nutrientes digestíveis totais (%)	67,15	60,08	54,67	55,36	43,13	53,22
Carboidratos totais	41,80	95,02	86,33	80,82	84,30	68,06
Carboidratos não fibrosos (A+B1)	7,30	46,69	28,86	27,11	32,25	18,95
%Fibra em detergente neutro indigestível	29,24	17,38	23,52	23,62	22,35	25,95
Digestibilidade in vitro da matéria seca	64,51	71,26	63,08	62,60	63,22	66,12

1 % MS; ²kg/t MV; MN: matéria natural

3.1 Processamento das amostras e análises laboratoriais

As amostras coletadas em cada silo foram devidamente identificadas, acondicionadas e armazenadas em freezer a uma temperatura de menos 10°C. Posteriormente, partes das amostras foram descongeladas à temperatura ambiente para que se procedesse a pré-secagem em estufa com ventilação forçada e temperatura controlada (55°C por 72 horas). Em seguida, foram moídas em moinho de facas tipo Willey, em peneira com malha de 1 mm, e submetidas à análises de

matéria seca (MS), que foi determinada de acordo com AOAC (1995/930.15), cinzas foram obtidas de acordo com AOAC (1990/942.05). Proteína bruta (PB) foi determinada pelo método Kjeldahl (AOAC, 1995/954.01). Extrato etéreo (EE) foi obtido de acordo com AOAC (1990/920.39) Fibra em detergente neutro (FDN) foi determinada de acordo com metodologia proposta por VAN SOEST et al., (1991) adaptada por MERTENS (2002). Em seguida foi obtida a fibra em detergente neutro isenta de cinza e proteína (FDNcp). A fibra em detergente ácido (FDA) foi obtida de acordo com AOAC (1995). A lignina foi determinada com ácido sulfúrico (72%) de acordo com VAN SOEST et al., (1991), e as frações de celulose e hemicelulose foi estimada pelas equações: Hemicelulose=FDN-FDA; Celulose=FDA-LDA. Nitrogênio insolúvel em detergente neutro (NIDN) e nitrogênio insolúvel em detergente ácido (NIDA) foram determinados conforme metodologia descrita por LICITRA et al., (1996).

Os valores de pH foram obtidos através de metodologia descrita por SILVA e QUEIROZ (2002), em 60 ml de água destilada foi adicionado 9g de silagem fresca e homogeneizada, a mistura ficou um período de 30 minutos de descanso antes de ser tomado o valor do pH com uso de peagâmetro portátil. Parte da silagem *in natura* (50 g) foi triturada com 200 mL de água, em liquidificador industrial, e filtrada em gaze para extração do meio aquoso, sendo utilizado imediatamente para análise de nitrogênio amoniacal (N-NH₃). O teor de N-NH₃, como porcentagem do N-Total, foi dosado imediatamente, utilizando-se óxido de magnésio e cloreto de cálcio, segundo CUNNIFF, (1995).

3.2 Fracionamento de carboidratos e proteínas

O teor de nitrogênio insolúvel em detergente ácido (NIDA) foi determinado de acordo com os procedimentos descritos por LICITRA et al., (1996), sendo expressos como porcentagem do nitrogênio total. A fração A das proteínas foi determinada após tratamento da amostra com ácido tricloroacético (TCA) a 10%, conforme relatado por LICITRA et al. (1996). A fração B3 foi obtida pela diferença entre os teores de NIDN e NIDA, enquanto a proteína verdadeira (frações B1 + B2) foi obtida pela diferença entre a fração A e o teor de NIDN. A fração C foi considerada nitrogênio insolúvel em detergente ácido (NIDA).

A porcentagem de carboidratos totais (CT) foi obtida pela equação proposta por SNIFFEN et al. (1992): $CT = 100 - (\% PB + \% EE + \% cinzas)$. Os carboidratos

fibrosos foram obtidos a partir da FDN corrigida para cinzas e proteína (FDN_n); os carboidratos não-fibrosos (CNF), ou seja, as frações A+B₁, pela diferença entre os carboidratos totais e a FDN_n (HALL, 2003) e a fração C, pela FDN indigestível após 244 horas de incubação *in situ*, descrita por CASALI et al. (2008). A fração B₂, correspondente à fração disponível da fibra, foi obtida pela diferença entre a FDN_n e a fração C.

3.3 Digestibilidade *in vitro* da matéria seca

A digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS) foi obtida segundo as técnicas (metodologia tradicional) descritas por TILLEY e TERRY (1963) e por Holden (1999), com o uso de incubadora do tipo Dayse, desenvolvida pela ANKOM. Para a colheita do líquido ruminal foram utilizados dois carneiros da raça Santa Inês, com fístula ruminal, pesando aproximadamente 40 kg. Adotou-se um período de 10 dias para adaptação do animal à cana-de-açúcar. Em cada recipiente foi adicionado 1.332 ml de solução tampão A¹ e 268 ml de solução tampão B² (*saliva artificial de Minnesota*) para obter um pH final de 6,8 a 39 °C. Por fim, foi adicionado 400 ml do líquido ruminal em cada recipiente e purgado com CO₂. Aproximadamente 1,5g de cada amostra foi colocada em sacos de tecido não tecido (TNT, 100g/m² - com poros de 40mm) foram então colocadas nos recipientes, os quais foram imediatamente fechados com tampa de borracha provida de válvula de Busen. Permanecendo fechados por 48 horas. Após este período, os recipientes foram abertos para se adicionar a pepsina para a digestão das proteínas, permanecendo por mais 24 horas de incubação. Após o período de incubação as amostras foram então retiradas, lavadas em água corrente, levadas à estufa a 105°C por 24 horas. Posteriormente as amostras foram pesadas para obtenção da matéria seca, seguindo metodologia descrita pela AOAC (1995/930.15).

3.4 Matéria seca indigestível (MSi) e fibra em detergente neutro indigestível (FDNi)

O ensaio de digestibilidade *in situ* foi conduzido, utilizando-se três ovinos adultos, da raça Santa Inês, fistulados no rúmen, onde foram incubados o farelo de mamona e as silagens, previamente secas em estufa de ventilação forçada (55°C), moídas em peneira com malha de 1mm e acondicionados sacos de tecido não tecido (TNT, 100g/m² - com poros de 40mm). O tempo de incubação foi de 244 horas, conforme metodologia proposta por CASALI et al., (2008), sendo

posteriormente lavados todos os sacos com amostras do material em água corrente. As análises laboratoriais de MS e PB foram realizadas segundo metodologia descrita por AOAC (1995/930.15; 954.01) e FDN determinada de acordo com metodologia proposta por VAN SOEST et al., (1991) adaptada por MERTENS (2002).

3.5 Estimativa dos teores dos nutrientes digestíveis totais (NDT)

A estimativa dos teores dos nutrientes digestíveis totais (NDT) foi determinada conforme metodologia descrita por WEISS et al., (1992), com modificações sugeridas pelo NRC (2001), representadas pelas equações a seguir:

$$\text{NDT} = \text{CNFD} + \text{PBD} + (\text{AGD} \times 2,25) + \text{FDND} - 7$$

$$\text{Em que: CNFD} = 0,98 \{100 - [(\text{FDN} - \text{PIDN})^* + \text{PB} + \text{EE} + \text{Cinza}]\} \times \text{FAP};$$

$$\text{PBD} = \text{PB} [-1,2 \times (\text{PIDA}/\text{PB})];$$

$$\text{AGD} = \text{AG} = \text{EE} - 1. \text{ Se } \text{EE} < 1, \text{ AG} = 0;$$

$$\text{FDND} = 0,75 \times [(\text{FDN} - \text{PIDN})^* - \text{Lig}] \times \{1 - [\text{Lig}/(\text{FDN}-\text{PIDN})^*]^{0,667}\}$$

* Se a FDN for determinada adicionando-se sulfito de sódio, não subtrair o PIDN; em que:

CNFD = carboidratos não fibrosos verdadeiramente digestíveis; PBD = proteína bruta verdadeiramente digestível; AGD = ácidos graxos verdadeiramente digestíveis; FDND = FDN verdadeiramente digestível; PIDN = proteína insolúvel em detergente neutro; FAP = fator de ajuste de processamento, neste caso, igual a 1; PIDA = proteína insolúvel em detergente ácido e Lig = lignina.

3.6 Perdas

As medidas de perdas totais de matéria seca (% MS), perdas por gases (PG), perdas por efluente (PE), e o índice de recuperação de matéria seca (IRMS) nas silagens foram estimadas de acordo com equações propostas por JOBIM et al., (2007):

$$\text{PMS} = \frac{[(\text{MSi} - \text{MSf})]}{\text{MSi}} \times 100$$

Onde:

PMS = Perda total de matéria seca (kg). MSi = Quantidade de matéria seca inicial (kg) [peso do silo após enchimento – (peso do conjunto vazio, antes do enchimento (tara seca) x teor de matéria seca da forragem na ensilagem)]. MSf = Quantidade de matéria seca final (kg) [peso do silo cheio antes da abertura - (peso

do conjunto vazio, após a abertura dos silos (tara úmida) x teor de matéria seca da forragem na abertura].

$$PG = \frac{[(PCen - Pen) * MSen] - [(PCab - Pen) * MSab]}{[(PCen - Pen) * MSen]} \times 100$$

Onde: PG = Perdas por gases em % da matéria seca; PCen = Peso do silo cheio na ensilagem (kg); Pen = Peso do conjunto (silo+tampa+areia+tela) na ensilagem (kg); MSen = Teor de MS da forragem na ensilagem (%); PCab = Peso do silo cheio na abertura (kg); MSab = Teor de MS da forragem na abertura (%).

$$PE = \frac{(Pab - Pen) \times 1000}{(MVfe)}$$

Onde: PE = Produção de efluente (kg/t de massa verde); Pab = Peso do conjunto (silo+areia+tela) na abertura (kg); Pen = Peso do conjunto (silo+areia+tela) na ensilagem (kg); MVfe = Massa verde de forragem ensilada (kg).

$$IRMS = \frac{100 - [(MFSe \times MSSe) - (MFSr - MSSr) \times 100]}{(MFSe \times MSSe)}$$

Em que: IRMS = Índice de recuperação de matéria seca (%); MFSe = Massa de forragem fresca no saco na ensilagem (kg); MSSe = Teor de MS da forragem na ensilagem (%); MFSr = Massa de forragem fresca no saco recuperado (kg); MSSe = Teor de MS da forragem no saco recuperado (%).

3.7 Análise estatística

Os dados foram avaliados por meio de análises de variância e de regressão, utilizando-se o Sistema de Análises Estatísticas e Genéticas – SAEG (2007). Os critérios adotados para a escolha do modelo foram o coeficiente de determinação (r^2), calculado como a relação entre a soma de quadrados da regressão e a soma de quadrados de tratamentos, e a significância observada dos coeficientes de regressão, utilizando para escolha o modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + e_{ijk}$$

sendo:

Y_{ijk} – o valor observado da variável;

μ – constante geral;

T_i – efeito do tratamento i ;

E_{ijk} – erro associado a cada observação.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de MS foram influenciados ($P > 0,001$) pela inclusão do farelo de mamona destoxificado na silagem de cana-de-açúcar (Tabela 2), o qual apresentou efeito linear crescente. Estimou-se com a equação que para cada unidade de FMD adicionado, foi obtido um acréscimo de 0,67% de matéria seca na silagem.

Tabela 2 – Composição bromatológica de silagens das cana-de-açúcar aditivadas com diferentes níveis de farelo de mamona destoxificado.

Item	Níveis de farelo de mamona (%)					Equação ³	r ²	CV (%)	Valor de P ³	
	0	5	10	15	20				L	Q
Matéria seca	19,34	22,87	27,16	30,13	32,45	$\hat{Y} = 19,6936 + 0,6696FM$	0,99	2,93	<0,001	0,009
Matéria mineral ¹	2,60	4,78	5,91	7,05	8,08	$\hat{Y} = 3,0380 + 0,2646FM$	0,97	5,93	<0,001	<0,001
Proteína bruta ¹	3,41	10,37	12,73	15,56	18,55	$\hat{Y} = 5,0284 + 0,7095FM$	0,95	8,82	<0,001	0,005
Proteína insolúvel em detergente neutro (%MS)	0,96	2,79	4,11	5,75	7,13	$\hat{Y} = 1,0912 + 0,3057FM$	0,99	16,02	<0,001	0,898
Proteína insolúvel em detergente ácido (%MS) ¹	0,49	1,78	2,42	3,20	4,14	$\hat{Y} = 0,6628 + 0,1743FM$	0,99	17,53	<0,001	0,653
Extrato etéreo ¹	2,83	1,41	1,21	2,28	2,71	$\hat{Y} = 2,6722 - 0,2715FM + 0,1420FM^2$	0,82	17,95	0,249	<0,001
Fibra em detergente neutro corrigido para cinzas e proteína	80,95	69,33	62,27	59,32	56,36	$\hat{Y} = 77,4812 - 1,1835FM$	0,91	1,6	<0,001	<0,001
Fibra em detergente ácido	62,82	60,99	52,71	52,63	53,59	$\hat{Y} = 61,3092 - 0,5136FM$	0,73	3,98	<0,001	<0,001
Hemicelulose	23,66	17,74	17,53	17,83	17,16	$\hat{Y} = 21,3668 - 0,2583FM$	0,56	15,86	0,006	0,039
Celulose	46,37	39,68	32,80	29,25	31,89	$\hat{Y} = 43,8768 - 0,7878FM$	0,8	10,03	<0,001	0,001
Lignina	12,49	15,95	17,67	19,79	22,17	$\hat{Y} = 12,9732 + 0,4640FM$	0,99	10,38	<0,001	0,856
Fibra em detergente neutro indigestível	36,36	30,21	29,53	29,31	29,17	$\hat{Y} = 33,9700 - 0,3053FM$	0,62	4,55	<0,001	<0,001
Matéria seca indigestível	41,21	34,97	35,00	34,99	34,02	$\hat{Y} = 38,9092 - 0,2870FM$	0,6	4,57	<0,001	0,001

¹% da MS; ² % da PB; ³ Efeito L (linear) e Q (quadrático); CV: Coeficiente de Variação.

A elevação dos teores de matéria seca das silagens aditivadas era esperado por se tratar de um aditivo com elevado nível de MS em sua composição, o FMD utilizado neste trabalho possui 92,52% de MS (Tabela 1). À medida que se aumentou o nível de inclusão do farelo de mamona destoxificado à silagem de cana-de-açúcar, houve um incremento nos níveis de matéria seca da silagem variando de 19,34 a 32,45% para os níveis 0 e 20% de FMD, aumentando em 13,4% o teor de matéria seca dessa silagem. O alto teor de umidade no momento da ensilagem inibe o adequado processo fermentativo, impedindo o rápido declínio do pH, permitindo fermentações secundárias indesejáveis e produzindo silagens de baixa qualidade, além de ocasionar perda de nutrientes pela elevada quantidade de efluente produzido (MCDONALD et al., 1991).

A inclusão do FMD influenciou significativamente ($P < 0,001$) os teores de cinzas das silagens (Tabela 2), afetando de forma linear crescente os valores para esta variável. No processo de destoxificação do farelo de mamona, o tratamento realizado foi do tipo químico, conforme metodologia descrita por OLIVEIRA et al. (2007), com adição de solução de cal (CaOH), sendo cada kg diluído em 10 litros de água, e aplicado na quantidade de 60g de cal por kg de farelo, na base da matéria natural, o que contribuiu para o acréscimo de minerais na sua composição bromatológica.

Houve um acréscimo nos teores de PB das silagens de cana-de-açúcar aditivadas com FMD ($P < 0,001$). Para cada unidade do subproduto adicionado elevou-se em 0,71% o teor de PB da silagem. Esse comportamento era esperado, já que o farelo de mamona utilizado possui uma média de 44,84% de proteína bruta (Tabela 1). A cana-de-açúcar utilizada possuía em sua composição química 2,66% de PB (Tabela 1), constituindo-se como fator limitante desse volumoso para a alimentação animal. O aumento observado foi de 3,44 para 18,55% de PB, nos tratamentos 0 e 20%, respectivamente. Estes resultados corroboram com os encontrados por OLIVEIRA et al., (2015) que avaliaram a inclusão de 7, 14 e 21% de inclusão do farelo de mamona à silagem de cana de açúcar e observaram aumentos significativos nos teores de PB (11,9, 16,1, 20%), respectivamente, enquanto a silagem controle tinha 2,8% de PB.

A inclusão do FMD à silagem de cana-de-açúcar aumentou ($P > 0,001$) os valores de PIDN (%MS) (proteína insolúvel em detergente neutro em função da

matéria seca) e PIDA (%MS) (proteína insolúvel em detergente ácido com base na matéria seca) (Tabela 2). A equação estimou que para cada unidade de FMD adicionada, foi observado um incremento de 0,31% e 0,17% de PIDN e PIDA, respectivamente. Resultados diferentes foram encontrados por OLIVEIRA et al., (2015) para a variável PIDN, que ao adicionarem 7, 14 e 21% de farelo de mamona à silagem de cana-de-açúcar, observaram redução para esta variável nas silagens aditivadas, entretanto, a equação de regressão apresentou comportamento quadrático, com ponto de mínima para a silagem com 14% do aditivo (29,5% da PB). As silagens, antes do processo fermentativo já apresentavam elevados teores de nitrogênio ligado à FDN e FDA em função do nitrogênio total (Tabela 1), e com a fermentação dos carboidratos solúveis, as concentrações de FDN, FDA e PB da silagem também aumentaram, de forma a concentrar tanto o NIDN quanto o NIDA das silagens estudadas. A utilização do $\text{Ca}(\text{OH})_2$ no tratamento do farelo de mamona pode ter reduzido a solubilidade da proteína desse resíduo. E, provavelmente, contribuiu para aumentar os valores das variáveis PIDN e PIDA nas silagens de cana-de-açúcar aditivadas com o resíduo. O hidróxido de cálcio não só possui a capacidade de desnaturar a proteína ricina, como também outras proteínas solúveis (OLIVEIRA et al., 2007). A proteína insolúvel em detergente ácido (PIDA) tem sido aplicada como parâmetro de predição da fração indigestível da PB (NRC, 2001). Segundo VAN SOEST, (1994) a fermentação pode provocar aumento da temperatura da silagem e conseqüentemente, ocasionar reações de Maillard com polimerização da hemicelulose e de açúcares com os grupos amino dos aminoácidos, tornando assim o nitrogênio da forragem indisponível. O que justifica a elevação no teor de PIDA (%MS) da silagem controle quando se observa esta variável antes e depois da ensilagem (0,18 para 0,49%) respectivamente, (Tabelas 1 e 2).

Os valores de EE foram influenciados ($P>0,001$) pela inclusão do FMD nas silagens (Tabela 2). A equação de regressão apresentou um comportamento quadrático, com ponto de mínima de 1,21% da MS com 10% de adição do aditivo. Os maiores valores foram observados para a silagem com 0, 15 e com 20% de adição do farelo de mamona destoxificado, (2,83, 2,28 e 2,71% de EE, respectivamente). O farelo de mamona é um subproduto da extração do óleo dessa oleaginosa, mas devido ao processo de extração que utiliza solvente, apresenta

baixo teor de gordura total, 2,70% da MS (Tabela 1), e sua adição às silagens de cana-de-açúcar provocou uma pequena queda nos valores observados para esta variável.

A inclusão de farelo de mamona influenciou ($P > 0,001$) os teores das frações fibrosas da silagem: FDN_{cp}, FDA, hemicelulose e celulose, reduzindo linearmente os valores para estas variáveis (Tabela 2). Foi verificado que cada unidade de farelo de mamona adicionada reduziu a FDN_{cp} em 1,18% da MS e as variáveis FDA, hemicelulose e celulose em 0,51, 0,26 e 0,78% da MS de acordo com a estimativa da equação de regressão. Essa redução era esperada já que os teores de hemicelulose e celulose do farelo de mamona são baixos em comparação a cana-de-açúcar (4,62 e 12,18% da MS, respectivamente, Tabela 1). O FMD foi adicionado como um concentrado proteico, o que contribuiu para a redução das frações de carboidratos.

Houve um aumento linear ($P > 0,001$) nos valores de lignina da silagem de cana-de-açúcar com adição do FMD (Tabela 2). Este subproduto possui um alto teor de lignina (30,09% da MS) em sua composição (Tabela 1), o que justifica o aumento de 0,46 pontos percentuais para cada unidade de farelo acrescida à silagem. Possivelmente, a presença de cascas das sementes no farelo de mamona foi determinante para o aumento da lignina deste resíduo. Segundo OLIVEIRA et al., (2010) a lignina afeta a digestibilidade da fração potencialmente digestível dos carboidratos insolúveis em meio neutro, ao tempo em que reduz a velocidade da degradação ruminal da FDN, implicando em menor consumo da FDN digestível.

A adição do farelo de mamona destoxificado reduziu linearmente ($P > 0,001$) as taxas de FDN_i e MS_i das silagens (Tabela 2). Observando maiores valores das variáveis para as silagens sem o aditivo (36,36% de FDN_i e 41,21% de MS_i), e os menores valores para as silagens com 20% de adição do farelo de mamona (29,17% de FDN_i e 34,02% de MS_i). OLIVEIRA et al., (2015) não encontraram diferença significativa ($P < 0,05$) para a FDN_i das silagens de cana-de-açúcar aditivadas com níveis crescentes de inclusão do farelo de mamona destoxificado, a média encontrada para essa variável foi de 34,7%, respectivamente. A MS_i e a FDN_i são indicativos da fração alimentar que não foi degradada no trato digestivo dos ruminantes. Silagens que contenham maiores teores dessas frações implicam em menor ingestão, com conseqüente indisponibilidade de nutrientes para o animal.

Comportamento semelhante foi observado por CAVALI et al., (2010) que avaliaram a inclusão de óxido de cálcio na silagem de cana-de-açúcar nos níveis (0, 5, 10, 15 e 20g/kg de silagem) e verificaram que houve redução da fração de FDNi do volumoso após 144 horas de incubação *in situ* do material estudado, observando-se redução linear com adição do aditivo.

Os teores médios de carboidratos totais, carboidratos não fibrosos (A+B1), componentes da parede celular disponíveis, que correspondem à fração potencialmente degradável (B2) e fração indigestível da parede celular (fração C) estão representados na Figura 1.

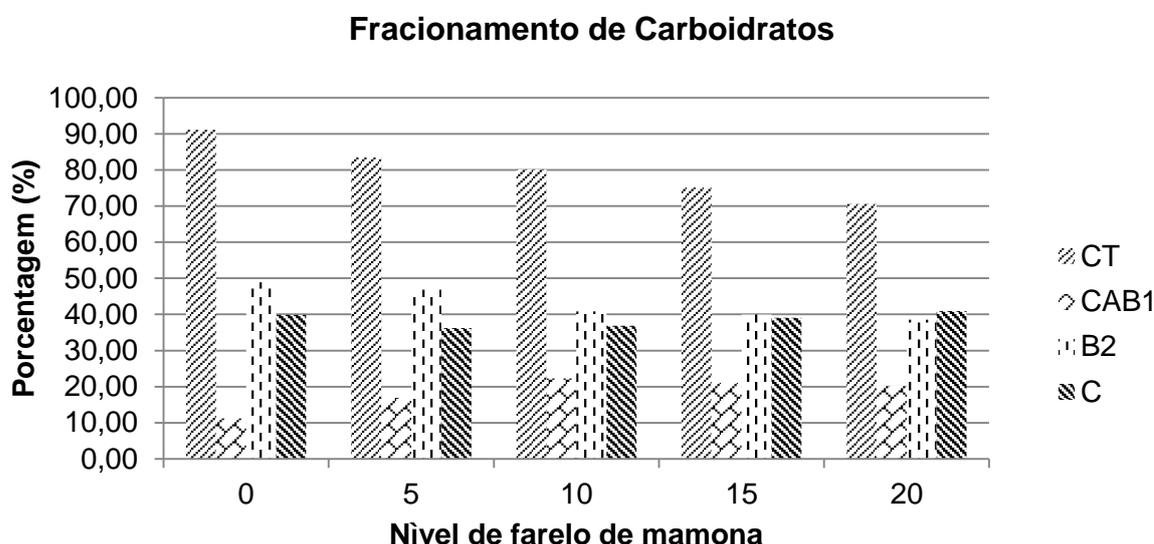


Figura 1. Teores médios de carboidratos totais (Equação: $CT = 89,972 - 0,9868FM$), carboidratos não fibrosos (A+B1) (Equação: $FAB1 = 11,0900 + 1,5634FM - 0,05604FM^2$ $r=0,97$); componentes da parede celular disponíveis, que correspondem à fração potencialmente degradável (B2) (Equação: $FB2 = 48,5696 - 0,554640FM$ $r=0,92$;) e fração indigestível da parede celular (C) ($FC = 39,4185 - 0,627206FM + 0,0363143FM^2$ $r=0,87$;) de silagens de cana-de-açúcar aditivadas com diferentes níveis de inclusão do farelo de mamona destoxificado.

A inclusão do farelo de mamona destoxificado (FMD) reduziu linearmente a proporção de carboidratos totais em relação à matéria seca ($P < 0,01$). Cada unidade de FMD adicionada diminuiu 0,98% dos teores de carboidratos totais das silagens (Figura 1). Estes resultados estão de acordo com os observados por RIBEIRO et al., (2014), que ao adicionarem torta de mamona à silagem de capim elefante, observaram diminuição nos teores de carboidratos totais da silagem. A diminuição

nos teores de carboidratos totais está diretamente relacionada aos teores elevados de proteína bruta presentes no farelo de mamona, (Tabela 1). Segundo o modelo proposto por SNIFFEN et al. (1992), as variáveis PB e EE são utilizadas na determinação dos teores de carboidratos totais. Os valores de carboidratos totais encontrados neste estudo estão dentro do padrão exigido para a adequada fermentação ruminal (VAN SOEST, 1994), constituindo 50 a 80% da matéria seca das plantas forrageiras.

Observou-se comportamento quadrático na análise de regressão ($P < 0,01$) para as frações dos carboidratos com elevada taxa de degradação ruminal (A+B1) (Figura 1). Como pode ser observado na Tabela 1, na silagem controle a fração A+B1 correspondia a 46,69% dos carboidratos totais. E após a abertura do silo esse teor foi reduzido a 11,20%, enquanto os tratamentos com 5, 10, 15 e 20% de adição de FMD apresentaram 16,90; 22,28; 20,99 e 20,22%, respectivamente. O que sugere que o aditivo foi efetivo em conservar os maiores teores de carboidratos solúveis. O aumento observado para as frações A+B1 nas silagens aditivadas com o farelo de mamona pode estar relacionado ao maior teor de matéria seca presente nessas silagens aditivadas, pois essa variável está relacionada à redução da atividade da água, diminuindo assim, a proliferação de microrganismos indesejáveis que usam os CNF como substrato (RIBEIRO et al., 2014). Esses resultados corroboram com FERRAZ et al., (2011) que avaliaram o fracionamento de carboidratos de silagem de cana-de-açúcar aditivada com ureia e farelo de mandioca, e verificaram aumento nos teores da fração A+B1 nas silagens aditivadas com o farelo de mandioca.

Para os carboidratos fibrosos, potencialmente digestíveis (Fração B2), a adição de FMD à silagem de cana-de-açúcar, provocou uma redução linear dessa fração ($P < 0,001$). Houve uma diminuição de 0,55% da fração B2 para cada unidade de FMD adicionada (Figura 1). O farelo de mamona destoxificado apresenta baixos teores de hemicelulose e celulose (Tabela 1), o que explica as menores porcentagens da fração B2 nas silagens aditivadas.

Em trabalho realizado por Ferraz et al., (2011), foi observado que a adição de farelo de mandioca ocasionou um decréscimo da fração B2 da silagem de cana-de-açúcar, entretanto, houve efeito quadrático da equação de regressão, enquanto que a adição de ureia também provocou redução, mas com efeito linear decrescente.

Ribeiro et al., (2014) não verificaram diferenças nos teores da fração B2 nas silagens de capim elefante aditivadas com torta de mamona, apresentando valor médio de 55,3% ($P>0,05$).

A fração indigestível (fração C), ajustou-se ao modelo quadrático ($P<0,001$), apresentando ponto de mínima de 36,72% para o nível 8,63% de adição do FMD (Figura 1). O elevado teor de lignina (30,09%) presente no farelo de mamona destoxificado utilizado (Tabela 1) justifica o alto teor da fração indigestível dos carboidratos fracionados dos tratamentos. Em estudos realizados com silagens de cana, ao avaliarem a composição química da cana-de-açúcar antes e depois da ensilagem, os autores observaram aumento da participação de componentes fibrosos, em decorrência da perda de MS, que ocorre devido à fermentação de carboidratos solúveis (NOVINSK et al., 2012; RIBEIRO et al., 2010; SCHMIDT et al., 2011). Esses dados explicam os maiores teores das frações B2 e C em relação à fração A+B1 (Figura 1).

A adição do FMD à silagem de cana-de-açúcar favoreceu o aumento linear do nitrogênio total ($P<0,01$), (Figura 2). Cada unidade de FMD provocou aumento de 0,11% o teor de NT dos tratamentos. O que já era de se esperar já que o farelo de mamona utilizado possui uma média de 44,84% de proteína (Tabela 1). O farelo de mamona destoxificado apresenta-se como concentrado proteico, 35,78% de proteína bruta, podendo conter 35,6% de nitrogênio insolúvel em detergente neutro e 6,75% de nitrogênio insolúvel em detergente ácido (com base no nitrogênio total) (COBIANCHI et al., 2012), e este aumento linear no teor de nitrogênio total das silagens com a adição do FMD, demonstra o seu potencial para uso na alimentação animal, podendo substituir parcialmente concentrados proteicos comumente utilizados na alimentação de ruminantes.

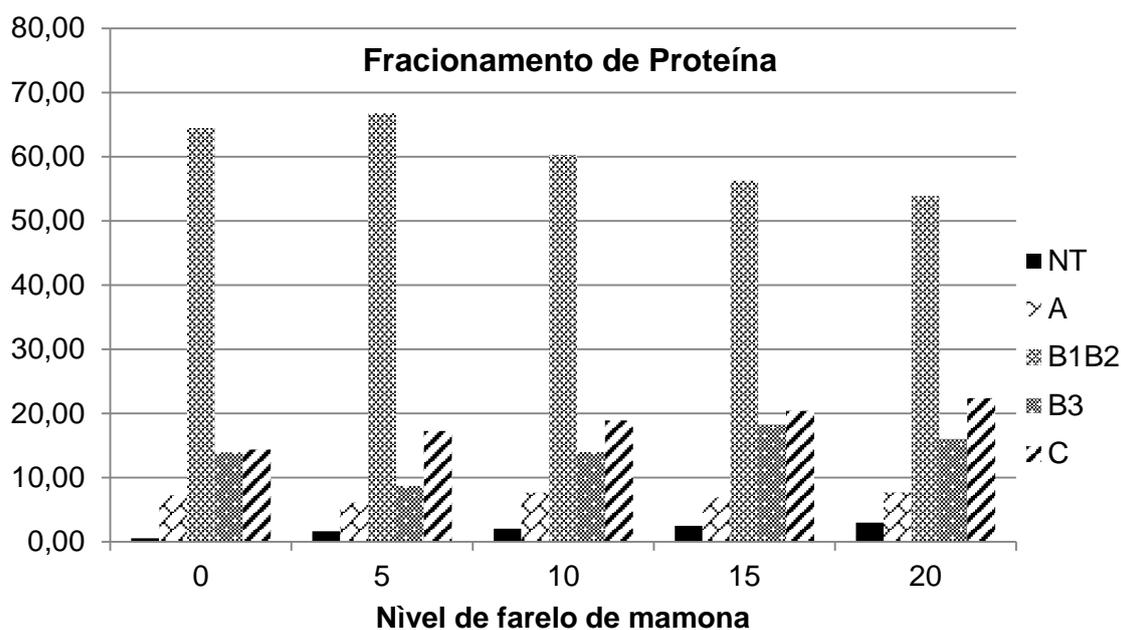


Figura 2. Teores médios de Nitrogênio total, fração constituída de nitrogênio não proteico (A) (Equação: $\hat{Y} = 7,12$), fração de rápida e de intermediária degradação (B1+B2) (Equação: $\hat{Y} = 66,6772-0,634760FM$), fração de lenta degradação (B3) (Equação: $\hat{Y} = 11,7268+0,21556FM$), fração não digestível (C) (Equação: $\hat{Y} = 14,8368+0,3831FM$) de silagens de cana-de-açúcar aditivadas ou não com farelo de mamona destoxificado.

Foi observado que não houve diferença entre as médias, com relação à fração constituída de nitrogênio não proteico – fração A (Figura 2), quando foi adicionado o farelo de mamona à silagem. A média observada entre os tratamentos foi 7,12%, respectivamente. A fração A representa os componentes nitrogenados de natureza não proteica que é instantaneamente solubilizada. Com a fermentação da massa ensilada, boa parte da proteína é convertida em nitrogênio não proteico, em decorrência da proteólise (PIRES et al., 2009). Entretanto esta quebra de proteínas decorrentes da fermentação não foi capaz de alterar os valores da fração A das silagens de cana-de-açúcar estudadas.

As frações de rápida e de intermediária degradação (B1+B2), tiveram uma diminuição à medida que se aumentou o nível de inclusão de farelo de mamona destoxificado, observou-se redução linear de 0,63 unidades percentuais para cada unidade de farelo de mamona ($P < 0,01$), (Figura 2). O farelo de mamona possui um elevado teor de NIDN, conseqüentemente é observada essa diminuição nos teores de nitrogênio de rápida degradação, ao passo em que se eleva o nível de inclusão do farelo de mamona na silagem. Entretanto, RIBEIRO et al., (2014) avaliando a

adição de torta de mamona à silagem de capim elefante, com doses de 0, 6, 12 ou 18% de torta de mamona, observaram que a adição deste resíduo provocou aumento das frações B1+B2 das silagens estudadas.

As frações de proteína de lenta degradação e fração não degradável (B3 e C) aumentaram linearmente (Figura 2). Foram observados incrementos de 0,21 e 0,38% das frações B3 e C para cada unidade de FMD adicionada as silagens. A fração B3 é representada pela fração proteica ligada à parede celular que apresenta lenta taxa de degradação (CARVALHO et al., 2008). Esse aumento era esperado já que o farelo de mamona apresenta elevados níveis de NIDN e NIDA (Tabela 1). Como mencionado anteriormente, o tratamento do farelo de mamona com Ca(OH)_2 (hidróxido de cálcio) pode ter reduzido a solubilidade da proteína desse resíduo. Consequentemente, contribuiu para aumentar os valores das frações de proteína de lenta degradação e indigestível nos tratamentos com o FMD. O Ca(OH)_2 não só possui a capacidade de desnaturar a proteína ricina, como também outras proteínas solúveis (OLIVEIRA et al., 2007).

Houve diminuição ($P>0,001$) nos teores de nutrientes digestíveis totais das silagens aditivadas com farelo de mamona destoxificado (Figura 3). A cada unidade de FMD adicionada houve uma queda de 0,75 pontos percentuais do NDT da silagem. Isso se deve a redução dos teores de carboidratos não fibrosos e ao aumento linear nos teores de lignina das silagens com adição do farelo de mamona destoxificado (Tabela 2). RIBEIRO et al., (2014), avaliaram a adição da torta de mamona destoxificada nos níveis (0, 6, 12 e 18% da MS) em silagens de capim elefante e observaram redução linear ($P<0,01$) dos teores de NDT do volumoso estudado, os valores observados foram (51,2; 46,7; 44,9; 41,7%, respectivamente).

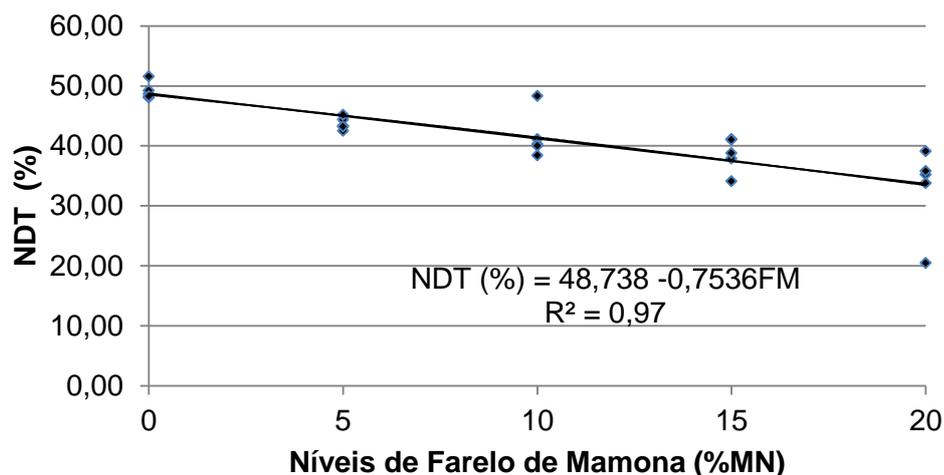


Figura 3. Nutrientes digestíveis totais (NDT) de silagens de cana-de-açúcar aditivadas com diferentes níveis de inclusão de farelo de mamona destoxificado

A inclusão do farelo de mamona à silagem de cana-de-açúcar influenciou de forma quadrática ($P > 0,001$) a digestibilidade *in vitro* da matéria seca (Figura 4), apresentando ponto de máxima de 66,15% de DIVMS para o nível de 15,14% de inclusão de farelo de mamona. Como pode ser observado na Figura 3, houve redução ($P > 0,001$) no teor de NDT, o que explica o comportamento quadrático observado para a variável DIVMS (Figura 4).

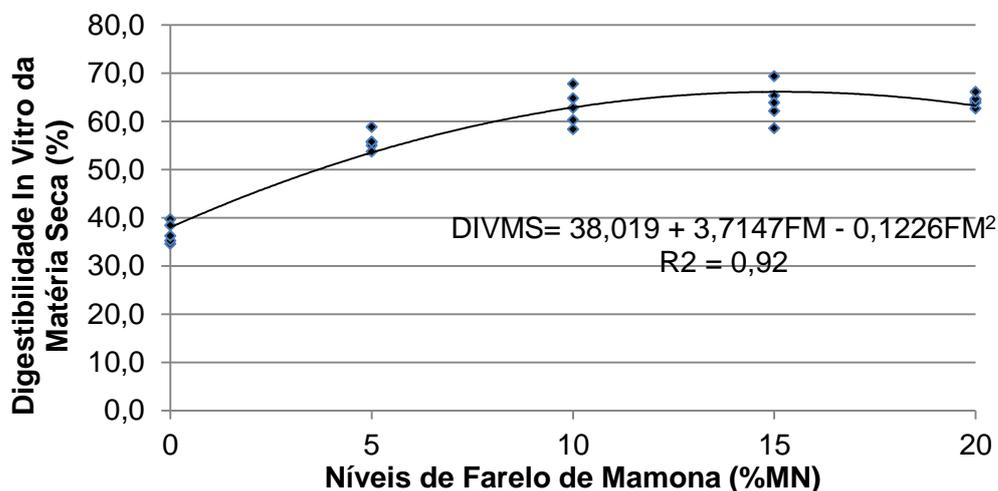


Figura 4. Digestibilidade *in vitro* da matéria seca de silagens de cana-de-açúcar aditivada ou não com diferentes níveis de inclusão de farelo de mamona destoxificado

A digestibilidade é utilizada como uma variável de qualidade indicando a proporção de alimento que está pronta para ser usada pelo animal (VAN SOEST, 1994). Possivelmente, os resultados de DIVMS observados na Figura 4 estão relacionados com a redução de compostos fibrosos das silagens aditivadas (Tabela

2). Apesar de ter sido observado uma queda nos teores de NDT das silagens com adição do FMD (Figura 3), o incremento de até 15% de FMD nas silagens melhorou a DIVMS (Figura 4).

O pH das silagens foi influenciado ($P>0,001$) pela adição de farelo de mamona. Foi observado um incremento de 0,02 unidades do pH a cada unidade de FMD adicionada (Figura 5). Este aumento provavelmente está relacionado ao poder alcalinizante do $\text{Ca}(\text{OH})_2$ adicionado ao FMD. Entretanto, os níveis se mantiveram dentro do padrão para manter a qualidade da silagem, uma vez que o farelo de mamona foi eficiente em reduzir as perdas (Tabela 3). O pH é um dos parâmetros de qualidade da silagem e ocorre através da produção de ácidos orgânicos durante a fermentação, e a redução do pH na silagem decorrente da produção desses ácidos promove uma queda na atividade proteolítica das enzimas da própria forragem e reduz o crescimento de microrganismos anaeróbicos indesejáveis, particularmente, enterobactérias e clostrídios. O ideal é que o pH esteja entre 3,8 e 4,2 para inibir fermentações indesejáveis (McDONALD, 1981). Por outro lado, CAVALI et al., (2010) afirmaram que na silagem de cana-de-açúcar, o pH, se observado isoladamente, não é um bom indicador de qualidade da fermentação, uma vez que a principal fermentação indesejável na silagem de cana é caracterizada pela ocorrência de leveduras que se desenvolvem mesmo em baixos valores de pH. OLIVEIRA et al., (2015) não encontraram diferenças no pH das silagens aditivadas com diferentes níveis de farelo de mamona (0, 7, 14 e 21% da MS), encontrando uma média de 3,58, respectivamente.

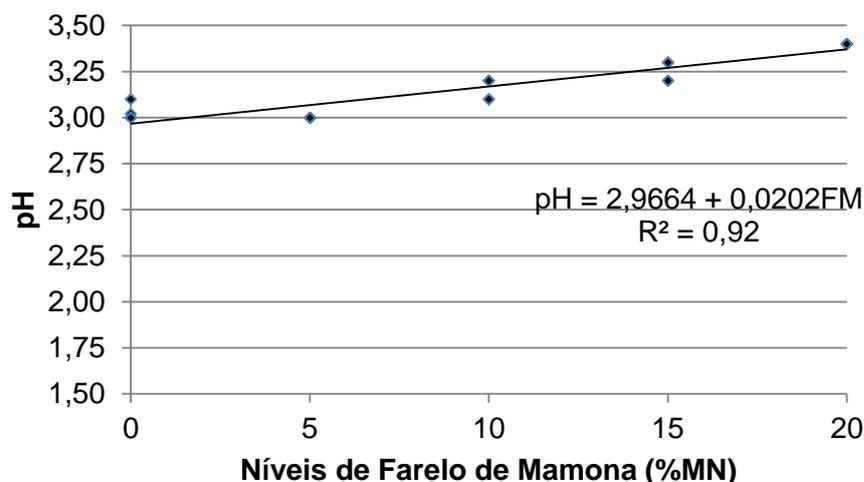


Figura 5. Equação de regressão e médias dos valores de pH de silagens de cana-de-açúcar aditivadas ou não com diferentes níveis de inclusão de farelo de mamona destoxificado

A adição de farelo de mamona destoxificado influenciou ($P>0,01$) os teores de $N-NH_3$ (%NT) das silagens (Figura 6). Foi verificado efeito quadrático para esta variável com o acréscimo no nível de inclusão. Estes resultados indicam que o subproduto melhorou a qualidade da silagem. De acordo com VAN SOEST (1994), valores de $N-NH_3$ acima de 10% indicam silagens de má qualidade porque o processo fermentativo provocou uma quebra excessiva de proteína em amônia. BERNARDES et al., (2007) estudaram o efeito da adição milho desintegrado com palha e sabugo (MDPS) em silagens de cana crua e cana queimada e verificaram que a adição de MDPS promoveu redução do teor de $N-NH_3$ ($P<0,05$), nas duas silagens. Os autores verificaram pequena proteólise e explicaram que a redução da atividade de água das silagens pode provocar menor atividade de clostrídios, o que pode estar relacionado ao uso do aditivo absorvente nessas silagens. LOPES e EVANGELISTA (2010) avaliaram a adição de ureia e aditivos absorventes de umidade na silagem de cana, e verificaram menor valor de nitrogênio amoniacal na silagem com 0,5 de ureia + 4% de milho.

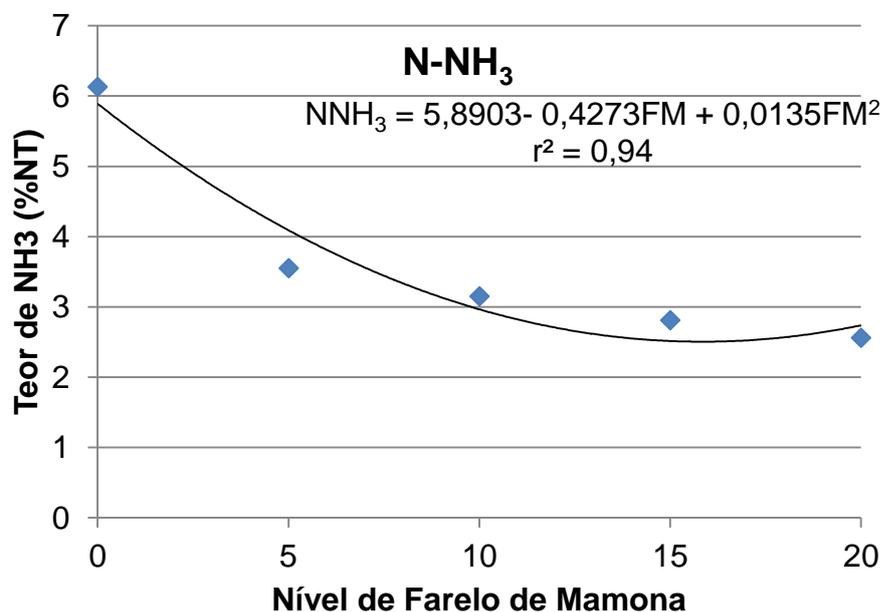


Figura 6. Equação de regressão e médias dos valores de $N-NH_3$ de silagens de cana-de-açúcar aditivadas ou não com diferentes níveis de inclusão de farelo de mamona destoxificado.

A inclusão do farelo de mamona destoxificado influenciou ($P>0,001$) as perdas de MS total, perdas por gases, perdas por efluente e no índice de recuperação de MS das silagens de cana-de-açúcar (Tabela 3). As perdas totais de

matéria seca reduziram linearmente, provavelmente o elevado teor de matéria seca do subproduto usado contribuiu para as menores perdas à medida que se aumentou o nível de inclusão do mesmo (Tabela 3). Um método alternativo para inibição do crescimento de bactérias indesejáveis é a redução do teor de umidade da forragem (McDONALD et al., 1991). A redução na atividade de água pode ter um efeito sinérgico adicional na queda do pH.

Tabela 3 – Perdas e recuperação de MS (RECPMS) de silagens de cana-de-açúcar aditivadas com diferentes níveis de inclusão do farelo de mamona destoxificado

Variável	Níveis de farelo de mamona (% MN) ³					Equação	r ²	CV (%)	Valor de p ⁴	
	0	5	10	15	20				L	Q
Perdas de MS Total ¹	35,4	22,6	14,5	9,3	8,0	$\hat{Y} = 31,6579 - 1,36226FM$	0,92	14,7	<0,001	<0,001
Perdas por gases ¹	24,60	17,99	13,03	10,84	8,92	$\hat{Y} = 22,775 - 0,77FM$	0,93	2,47	<0,001	<0,001
Perdas por efluente ²	21,0	13,0	3,2	2,8	2,8	$\hat{Y} = 21,539 - 2,3837FM + 0,0726FM^2$	0,95	3,5	<0,001	<0,001
Índice de recuperação de matéria seca ¹	64,5	77,3	85,4	90,6	91,9	$\hat{Y} = 68,3421 + 1,36226FM$	0,98	1,0	<0,001	<0,001

¹ % MS; ²kg t⁻¹ MV; ³MN: matéria natural; ⁴ Efeito L (linear) e Q (quadrático).

À medida que se elevou o nível de inclusão do FMD na silagem, foi verificado um aumento nos teores de matéria seca (Tabela 2), o que contribuiu para a diminuição das perdas de MST de 35,4 para 8,0%, para os níveis 0 e 20%, respectivamente (Tabela 3). A perda de MS observada neste trabalho, 34,5% na ensilagem sem aditivo, foi superior aquelas encontradas por OLIVEIRA et al., (2015), REZENDE et al., (2011) e SCHMIDT et al., (2011), (31,3, 30,49 e 14,4% da MS, respectivamente).

O tratamento sem adição de farelo de mamona apresentou os maiores índices de perdas de matéria seca, perdas por gases e por efluentes se comparada às silagens aditivadas (Tabela 3). O maior teor de umidade da silagem com 0% de adição de farelo de mamona destoxificado (19,4% de MS), predispõe o material às fermentações indesejáveis, por dificultar o abaixamento rápido do pH, que é o requisito indispensável para a adequada fermentação, conseqüentemente aumentou as perdas. O controle de perdas e da produção de etanol deve ser o foco na ensilagem de cana-de-açúcar (CARVALHO et al., 2014).

As perdas por efluente (PE) apresentaram efeito quadrático em função dos níveis testados apresentado ponto de mínima de 1,97% de PE para o nível de 16,46% de inclusão de farelo de mamona destoxificado. A atividade de respiração da planta e o crescimento de microrganismos produzem água e contribuem para a formação de efluentes (McDONALD et al., 1991). Além disso, outro motivo que provavelmente contribuiu para a elevada perda de matéria seca por efluente da silagem de cana-de-açúcar é a fermentação alcoólica. A cana-de-açúcar possui grande quantidade de carboidratos solúveis, o que a torna susceptível ao ataque de leveduras, as quais fermentam açúcares solúveis e tem como principais produtos de fermentação etanol, H₂O e CO₂, contribuindo para as maiores perdas de matéria seca da silagem. Aditivos sequestrantes de umidade podem corrigir a MS da silagem, e alguns materiais fornecem carboidratos solúveis e estimulam a fermentação (SCHMIDT et al., 2014). Quanto maior a qualidade do aditivo sequestrante usado, menor o teor de FDN e maior a digestibilidade da MS, o que leva ao maior consumo e desempenho de ruminantes. Trabalhos que utilizam aditivos absorventes na ensilagem de cana-de-açúcar são escassos na literatura (OLIVEIRA et al., 2015; MAEDA et al., 2011; LOPES e EVANGELISTA, 2010).

LOPES e EVANGELISTA (2010) utilizaram aditivos sequestrantes de umidade na silagem de cana-de-açúcar, mas não quantificaram as perdas.

MAEDA et al., (2011) utilizaram casca de soja + inoculante e farelo de mandioca + inoculante na silagem de cana-de-açúcar e não encontraram diferença ($P < 0,05$) nas perdas totais, por gases e efluente, as silagens apresentaram uma média de 7,8% de perdas totais de MS. RODRIGUES et al., 2015 adicionaram diferentes aditivos (fubá de milho – 10% MN, melão – 10% MN, ureia – 2% MN e inoculante microbiano 2g L^{-1} de água utilizando 2L de solução por tonelada ensilada) e não encontraram diferenças ($P < 0,05$) nas perdas de MS, a média encontrada para a variável estudada foi 5,86%, respectivamente.

Os valores de RECPMS foram influenciados ($P > 0,001$) linearmente pela incorporação do farelo de mamona. Foram observados acréscimos de 1,37 unidades percentuais para cada unidade de farelo de mamona adicionada (Tabela 3). A diminuição nas perdas totais contribuiu para que houvesse maior recuperação de matéria seca do material ensilado. A redução nas perdas fermentativas e o aumento na recuperação da matéria seca da silagem de cana-de-açúcar podem ser atribuídos à redução do teor de água, ao tempo em que altera a pressão osmótica do meio, criando condição menos favorável para o desenvolvimento de leveduras (VAN SOEST, 1994).

5 CONCLUSÕES

A adição de 15% de farelo de mamona destoxificado melhora o valor nutritivo da silagem de cana-de-açúcar, aumenta o teor de proteína bruta e reduz a matéria seca indigestível melhorando a digestibilidade da forragem. E melhora as frações de carboidratos de rápida degradação.

O farelo de mamona adicionado à silagem de cana-de-açúcar é eficiente na redução do nitrogênio amoniacal, nas perdas de matéria seca por gases e por efluentes e manutenção dos valores de pH próximos aos ideais garantindo a estabilização eficiente da massa ensilada.

ESTABILIDADE AERÓBIA DE SILAGENS DE CANA-DE-AÇÚCAR ADITIVADAS COM DIFERENTES NÍVEIS DE FARELO DE MAMONA DESTOXIFICADO

RESUMO – Objetivou-se com este estudo avaliar os efeitos da inclusão de níveis crescentes de farelo de mamona destoxificado sobre o pH, estabilidade aeróbia e matéria seca de silagens de cana-de-açúcar. Foram utilizados cinco tratamentos com os níveis de inclusão do farelo de mamona destoxificado (0, 5, 10, 15 e 20% da matéria natural), em um delineamento inteiramente casualizado com cinco repetições cada. O material foi ensilado em baldes plásticos, com 32 cm de altura e 88 cm de diâmetro, com tampas providas de válvula de Bunsen, para saída de gases oriundos da fermentação. A compactação foi realizada de modo a se obter densidade de 600 kg.m^{-3} . Após 60 dias os mini silos foram abertos, o conteúdo de cada silo foi homogeneizado e 4 kg de cada silagem foram colocados em baldes, sem compactação, ficando expostos em uma sala onde foram aferidos o pH e as temperaturas das silagens, temperaturas ambiente (máxima, mínima e média) e umidade relativa do ar (máxima, mínima e média). Amostras foram coletadas ao longo dos dias para a determinação da matéria seca (MS). A adição de farelo de mamona aumentou o pH, a temperatura e matéria seca das silagens durante a exposição ao ar e diminuiu o tempo de estabilidade aeróbia. A adição de farelo de mamona destoxificado aumenta o pH e a temperatura das silagens durante a exposição ao ar e diminui o tempo de estabilidade aeróbia. A quebra de estabilidade com adição de farelo de mamona ocorre entre 30 e 50 horas de exposição aeróbia.

Palavras-chave: aditivo, matéria seca, subproduto, temperatura.

AEROBIC STABILITY OF SUGARCANE SILAGES SUPPLEMENTED WITH DIFFERENT LEVELS OF DETOXIFIED CASTOR BEAN MEAL

ABSTRACT - The objective of this study was to evaluate the effects of the inclusion of increasing levels of detoxified castor bean meal on pH, aerobic stability and dry matter of sugarcane silages. Five treatments with the inclusion levels of detoxified castor bean meal (0, 5, 10, 15 and 20% of natural matter) were used in a completely randomized design with five replicates each. The material was ensiled in plastic buckets, 32 cm high and 88 cm in diameter, with caps equipped with a Bunsen valve for the exit of gases from the fermentation. The compaction was performed in order to obtain a density of 600 kg m⁻³. After 60 days the mini silos were opened, the contents of each silo were homogenized and 4 kg of each silage were placed in buckets, without compaction, being exposed in a room where the pH and silage temperatures were measured, ambient temperature (maximum, minimum and average) and relative humidity (maximum, minimum and average). Samples were collected over the days to determine dry matter (DM). The addition of castor bean meal increased the pH, temperature and dry matter of the silages during exposure to air and decreased the time of aerobic stability. The addition of detoxified castor bean increases the pH and temperature of the silages during exposure to air and decreases the aerobic stability time. The stability break with addition of castor bean meal occurs between 30 and 50 hours of aerobic exposure.

Keywords: additive, dry matter, by-product, temperature.

6 INTRODUÇÃO

Na última década, a preservação da cana-de-açúcar como silagem despertou o interesse dos pesquisadores e produtores devido aos benefícios na logística e operacionalidade desta técnica (MARTINS et al., 2015). As desvantagens da ensilagem da cana-de-açúcar são as elevadas perdas de matéria seca durante o processo fermentativo, e o uso de aditivos é importante para reduzir a intensidade da fermentação alcoólica, típica desse material (SCHMIDT, 2009).

Os trabalhos realizados com silagem de cana-de-açúcar buscam alternativas para reduzir as perdas, através do uso de aditivos que sejam capazes de diminuir a população de leveduras, de forma a melhorar o processo fermentativo e controlar perdas que podem ocorrer tanto no armazenamento quanto na exposição ao ar da silagem dessa forrageira (NOVINSK et al., 2012; SCHMIDT et al., 2011).

Depois do período necessário à fermentação, a preocupação se torna a preservação da silagem após a abertura do silo. Na ensilagem o ar é aprisionado na massa ensilada, através da compactação, e o O₂ é rapidamente consumido pela atividade respiratória do material vegetal e por microrganismos aeróbios (facultativos) (SPRAGUE, 1974). Com a abertura do silo, através da manipulação da silagem para o fornecimento aos animais, é natural que haja contato do material com o O₂, contribuindo para que ocorra a multiplicação de alguns grupos de microrganismos aeróbios que consomem os compostos energéticos presentes na silagem (PAHLOW et al., 2003), elevando as perdas de matéria seca e diminuindo o valor nutritivo da silagem.

Um método alternativo para inibição do crescimento de bactérias indesejáveis é a redução do teor de umidade da forragem (McDONALD et al., 1991). Na literatura são escassos trabalhos que avaliam efeito de aditivos absorventes sobre as perdas fermentativas na silagem da cana e que melhore a qualidade nutricional das silagens pela elevação do valor bromatológico (CARVALHO et al. 2014). Nesse contexto, o farelo de mamona destoxificado, que apresenta propriedades absorptivas e nutritivas, com elevados teores de matéria seca e proteína bruta (COBIANCHI et al., 2012), surge como possível solução para ser utilizado como aditivo na ensilagem da cana-de-açúcar, por apresentar características que podem melhorar o processo fermentativo da silagem, corrigir seu valor nutricional, e dessa forma, conseguir manter a qualidade nutricional após a abertura do silo.

Objetivou-se com este estudo avaliar os efeitos da inclusão de diferentes níveis de farelo de mamona destoxificado sobre o pH, estabilidade aeróbica e matéria seca de silagens de cana-de-açúcar.

7 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na Universidade Federal de Alagoas – *Campus Arapiraca*, localizado no município de Arapiraca – AL. A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum L.*) utilizada foi da variedade RB07312, a qual foi colhida aos 18 meses de idade. A colheita foi realizada no dia 10 de abril de 2015, sem queima, e processada em picadeira estacionária, com intuito de obter partículas com tamanho médio de 2 cm. Após o processamento, a cana foi revirada e homogeneizada, posteriormente, foi ensilada sem a utilização do aditivo e com a inclusão do farelo de mamona destoxificado (FMD), em níveis de 5, 10, 15 e 20%, com base na matéria natural, em delineamento inteiramente casualizado com 5 repetições.

O farelo de mamona utilizado foi adquirido da BIO ÓLEO, localizada na região metropolitana de Salvador/BA. O mesmo foi destoxificado previamente através do uso de solução de hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2), onde cada 1kg de Ca(OH)_2 foi diluído em 10 litros de água, e aplicado na quantidade de 60g de cal por kg de farelo, na base da matéria natural, conforme recomendado por OLIVEIRA et al. (2007). Após a mistura do farelo de mamona com a solução de cal, o material permaneceu em repouso por um período de 12 horas, posteriormente, foi feito a secagem por meio de exposição ao sol.

Depois de misturada a cana-de-açúcar a quantidade de FMD correspondente a cada nível de inclusão, na base da matéria natural (peso/peso), o material foi armazenado durante 60 dias em baldes plásticos, com 32 cm de altura e 88 cm de diâmetro, com tampas providas de válvula de Bunsen, para saída de gases oriundos da fermentação. Foi também utilizado 3,0 kg de areia fina no fundo de cada silo, para drenar o efluente gerado, e uma tela para separar a areia da silagem. A compactação foi realizada de modo a se obter densidade de 600 kg.m^{-3} , e os silos foram vedados e pesados e foram armazenados por um período de 60 dias.

Após o período de 60 dias, os silos foram abertos, procedendo-se então a coleta de amostras para análise de matéria seca, pH e estabilidade aeróbia.

7.1 Avaliação da estabilidade aeróbia

Para avaliação da estabilidade aeróbia, o conteúdo de cada silo foi homogeneizado e 4 kg de silagem foram colocados em baldes, sem compactação, ficando expostos em uma sala onde foram tomadas as medidas de umidade e temperaturas ambiente, mínima e máxima, como está descrita na Tabela 1. As temperaturas das silagens foram verificadas duas vezes ao dia, durante dez dias, com uso de termômetro inserido no centro da massa de forragem, conforme BERNARDES et al. (2007). A avaliação da estabilidade aeróbia foi calculada com os parâmetros propostos por O'KIELY et al. (1999), apresentados em número de dias para elevação da temperatura da silagem em 2°C em relação à temperatura ambiente, número de dias para atingir a temperatura máxima, temperatura máxima do material e soma das médias diárias de temperatura nas silagens expostas ao ar durante o período de dez dias, a partir da abertura dos silos. Amostras das silagens foram colhidas ao início e término do período de avaliação, para determinação do teor de MS em estufa de circulação forçada de ar a 55°C de acordo com AOAC (1995/930.15).

Tabela 1- Valores médios da temperatura ambiente, temperaturas mínima e máxima, umidade ambiente, umidade mínima e umidade máxima durante os 10 dias de fase aeróbia

Variável	Dias de fase aeróbica									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
T° C Ambiente	26,4	25,3	27,5	28,6	27,7	28,3	28,2	27,6	28,4	28,1
T° C Max	29,1	28,4	27,9	29,4	29,5	29,5	29,4	28,1	29,3	29,3
T° C Min	27,2	26,2	25,6	27,4	26,8	27,5	27,2	26,3	26	27,1
Umidade	72,5	77,8	78	71,5	65,7	67,2	69,3	67,5	68,3	69
UMax	80,5	81,0	80,5	77,2	77	73	75,7	77	75,2	75
UMin	67,8	67,5	67,8	64,3	58,7	57	62,5	63,8	58,8	61,3

As variáveis avaliadas foram: estabilidade aeróbia, definida como o tempo em horas para elevação da temperatura em 2°C em relação ao ambiente; temperatura máxima alcançada pela massa, em graus celsius; tempo, em horas, para atingir a temperatura máxima; perda de matéria seca de zero a dez dias. A temperatura acumulada (Tac) foi calculada pela soma das diferenças positivas entre a temperatura da silagem e a temperatura ambiente. A temperatura máxima da silagem durante o período (Tmax) também foi avaliada.

Os valores de pH foram obtidos através de metodologia descrita por (SILVA e QUEIROZ, 2002) em 60 ml de água destilada foi adicionado 9g de silagem fresca e homogeneizada, a mistura ficou um período de 30 minutos de descanso antes de ser tomado o valor do pH com uso de peagâmetro.

7.2 Análise estatística

Os dados foram avaliados por meio de análises de variância e de regressão, utilizando-se o Sistema de Análises Estatísticas e Genéticas – SAEG (2007). Os critérios adotados para a escolha do modelo foram o coeficiente de determinação (r^2), calculado como a relação entre a soma de quadrados da regressão e a soma de quadrados de tratamentos, e a significância observada dos coeficientes de regressão, utilizando para escolha o modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + e_{ijk}$$

sendo:

Y_{ijk} – o valor observado da variável;

μ – constante geral;

T_i – efeito do tratamento i ;

E_{ijk} – erro associado a cada observação.

8 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A inclusão do FMD provocou aumento linear ($P>0,01$) no pH das silagens de cana-de-açúcar durante todos os dias de exposição ao oxigênio (Tabela 2).

Tabela 2 – Médias do pH diário das silagens de cana-de-açúcar aditivadas com diferentes níveis de inclusão do farelo de mamona destoxificado durante dez dias de exposição ao ar

Dia	Níveis de farelo de mamona (% MN)					Equação	R	CV (%)
	0	5	10	15	20			
1	3,0F	3,0C	3,2G	3,3H	3,4F	$\hat{Y} = 2,956 + 0,0208FM$	0,90	1,41
2	3,2E	3,5BC	3,6FG	3,8G	3,8F	$\hat{Y} = 3,2813 + 0,0309FM$	0,92	1,52
3	3,6BC	3,8BC	4,0EF	4,3F	4,5E	$\hat{Y} = 3,598 + 0,0445FM$	0,99	3,92
4	3,7AB	3,9BC	4,6E	6,1E	6,1D	$\hat{Y} = 3,497 + 0,1379FM$	0,99	7,19
5	3,8A	3,9BC	5,4D	6,3DE	6,4CD	$\hat{Y} = 3,642 + 0,1511FM$	0,91	5,16
6	3,4D	3,8BC	5,7D	6,6D	7,0C	$\hat{Y} = 3,309 + 0,1986FM$	0,94	6,16
7	3,5CD	4,0AB	7,0C	7,5C	7,7B	$\hat{Y} = 3,58 + 0,2342FM$	0,87	4,6
8	3,4D	4,3AB	7,7B	8,2B	8,2AB	$\hat{Y} = 3,694 + 0,2702FM$	0,84	5,42
9	3,4D	5,1AB	8,4AB	8,7A	8,6A	$\hat{Y} = 4,054 + 0,279FM$	0,83	9,26
10	3,4D	5,6A	8,7A	8,8A	8,8A	$\hat{Y} = 4,287 + 0,2771FM$	0,80	12,05

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Os dias de exposição influenciaram ($P>0,05$) o pH das silagens controle e aditivadas (Tabela 2). A silagem controle teve seu maior pH nos dias 4 e 5 (3,7 e 3,8), e apresentou redução nos dias seguintes. Com o passar dos dias o pH das silagens que continham farelo de mamona destoxificado foi aumentando. A adição de 5% de farelo contribuiu para que houvesse aumento ($P>0,05$) do pH ao longo dos dias, podendo ser observadas semelhanças entre as médias dos dias 7, 8, 9, 10 para os maiores valores observados (4,0, 4,3, 5,1 e 5,6) respectivamente. Nas silagens com 10, 15 e 20% de inclusão de farelo de mamona, a variável apresentou diferenças ($P>0,05$) ocorrendo aumento no pH dessas silagens a cada dia que

passavam expostas ao ar. Nesses tratamentos, o pH esteve entre 3,2 e 4,5 até o terceiro dia de exposição aeróbia.

As médias de pH das silagens de cana-de-açúcar no momento da abertura dos silos, ao quinto dia e após dez dias de exposição ao ar, podem ser observadas na Tabela 3. Verificou-se influência ($P>0,001$) da inclusão do farelo de mamona sobre os valores do pH máximo das silagens estudadas, durante o período de exposição ao ar, a equação de regressão apresentou comportamento quadrático para esta variável com ponto de máxima de 8,73 ao nível de 16,45% de FMD (Tabela 3).

Tabela 3 - Médias de pH das silagens de cana-de-açúcar no momento da abertura dos silos, ao quinto e décimo dias de exposição ao oxigênio e número de horas para a silagem atingir o pH máximo.

Variável	Níveis de farelo de mamona					Equação	Ponto Máx.	Nível	r	CV (%)	Valor de p	
	(% MN)										L	Q
	0	5	10	15	20							
pH máximo	3,83	5,66	8,72	8,73	8,62	$\hat{Y}=3,59829+0,6482FM-0,0197FM^2$	8,93	16,45	0,96	11,85	<0,001	<0,001
pH máx. em dias	4,6	9,8	10	8,8	8	$\hat{Y}=5,16571+0,88817FM-0,0383 FM^2$	10,31	11,59	0,85	7,07	<0,001	<0,001
pH máx. em hora	110,4	235,2	240	211,2	192	$\hat{Y}=123,977+21,1611FM-0,91885FM^2$	244,86	12,53	0,85	7,07	<0,001	<0,001
pH0	3,02	2,98	3,16	3,26	3,4	$\hat{Y}=2,9560+0,02080FM$	-	-	0,90	1,41	<0,001	0,001
pH5	3,8	3,88	5,41	6,29	6,37	$\hat{Y}=3,6800+0,1500FM$	-	-	0,91	5,16	<0,001	0,181
pH10	3,41	5,62	8,70	8,78	8,76	$\hat{Y}=3,2257+0,7065FM-0,02148FM^2$	9,03	16,45	0,97	12,05	<0,001	<0,001

Observou-se que o pH das silagens aditivadas foi aumentando continuamente ao longo dos dias, enquanto a silagem controle atingiu o pH máximo antes do quinto dia de exposição ao ar, as silagens aditivadas com 5, 10, 15 e 20% de adição do farelo atingiram o pico com 9,8, 10, 8,8 e 8 dias respectivamente, de exposição. Para a obtenção de silagens estáveis anaerobicamente, estas devem estar com pH suficientemente baixo para evitar fermentações secundárias. O pH máximo para manter a estabilidade aeróbia também depende do teor de matéria seca da silagem, podendo ser de 4,35 para silagens com até 30% de MS (PAHLOW et al., 2003).

A silagem controle atingiu seu pH máximo após 110,4 horas de exposição ao O₂ (Tabela 3), a adição de níveis crescentes de farelo de mamona às silagens demonstrou diferentes horas para o pico de pH das silagens, observando-se um comportamento quadrático com ponto de máxima de 244,86 horas com 12,53% de FMD (Tabela 3). Os valores de pH encontrados neste trabalho corroboram com resultados encontrados por BALIERO NETO et al., (2009) que utilizaram aditivos químico e microbiano na silagem de cana-de-açúcar e verificaram que a silagem contendo 0,5% de cal obtiveram os maiores valores de pH durante a exposição das silagens ao ar. O farelo de mamona utilizado neste trabalho foi tratado utilizando hidróxido de cálcio, conforme metodologia descrita por OLIVEIRA et al., (2007), dessa forma, devido o Ca(OH)₂ ter um alto poder alcalino, explica os maiores valores de pH para as silagens com níveis mais altos de inclusão do farelo.

Verificou-se comportamento linear crescente ($P > 0,001$) para a variável pH das silagens com adição de níveis crescentes de FMD, no momento da abertura dos silos e no quinto dia de exposição ao ar, cada unidade de FMD adicionada aumentou em 0,021 e 0,15 pontos de pH, respectivamente nos dias observados (0 e 5º dia). Já as médias observadas para pH das silagens no décimo dia de exposição apresentaram comportamento quadrático, com ponto de mínima de 3,415 na silagem controle e máxima de 8,78 com 15% de adição de FMD (Tabela 3).

O pH está entre os parâmetros que mais afetam a estabilidade das silagens. Com a exposição aeróbia microrganismos ácido-tolerantes e aeróbios facultativos, presentes no início silagem começam a se proliferar, oxidando açúcares residuais, ácido láctico, ácido acético e o etanol como substratos. As leveduras são o principal grupo de micro-organismos a dar início à deterioração das silagens na fase aeróbia, e ocasionalmente bactérias do ácido acético, através do consumo dos ácidos

orgânicos. Essa redução ocasiona um aumento no pH (PAHLOW et al., 2003), dando início a segunda fase de deterioração, a qual está associada a uma elevação da temperatura, deixando condições para a multiplicação de *Bacillus*. Por fim, outros microrganismos aeróbios (facultativos) como fungos filamentosos e enterobactérias podem voltar a atuar (MUCK, 2010; WOOLFORD, 1990). A razão para isso é que muitas leveduras são capazes de crescer a pH 3,5, bem abaixo do pH da maioria das silagens. O elevado pH está relacionado à diminuição da digestibilidade e do conteúdo energético, conseqüentemente, as silagens deterioradas podem levar a grandes perdas econômicas e baixo desempenho animal (GOMES et al., 2015).

A adição de farelo de mamona destoxificado influenciou ($P > 0,001$) a variável temperatura ($^{\circ}\text{C}$) durante o período de exposição aeróbia. As silagens aditivadas com 0; 5; 10; 15 e 20 % de FMD atingiram a temperatura máxima de 38,2; 38; 41,6; 42,6 e 42,8 $^{\circ}\text{C}$, respectivamente, necessitando de 8,6; 3,2; 5,6; 3,8 e 4,4 dias para atingirem o pico (Figura 1). Durante os dias em que cada tratamento atingiu o pico de temperatura máxima, a temperatura média (ambiente) observada foi de 27,7 $^{\circ}\text{C}$ (Tabela 1). Para a variável temperatura máxima, a inclusão do farelo de mamona provocou aumento linear crescente, com 0,27 pontos percentuais para cada unidade de farelo adicionada. Enquanto as variáveis temperatura máxima em dias e temperatura máxima em horas apresentaram comportamento quadrático, com pontos de mínima 3,73 dias e 89,57 horas nos níveis 13,55 e 13,5% de inclusão do FMD, respectivamente (Figura 1). A silagem controle levou 206,4 horas para atingir sua temperatura máxima, a silagem com 5% de farelo de mamona atingiu o pico de temperatura em menor tempo em relação aos demais níveis, com 76,8 horas de exposição. Com 10, 15 e 20% de inclusão do farelo de mamona os picos de temperatura foram alcançados às 134,4, 91,2 e 105,6 horas, respectivamente (Figura 1).

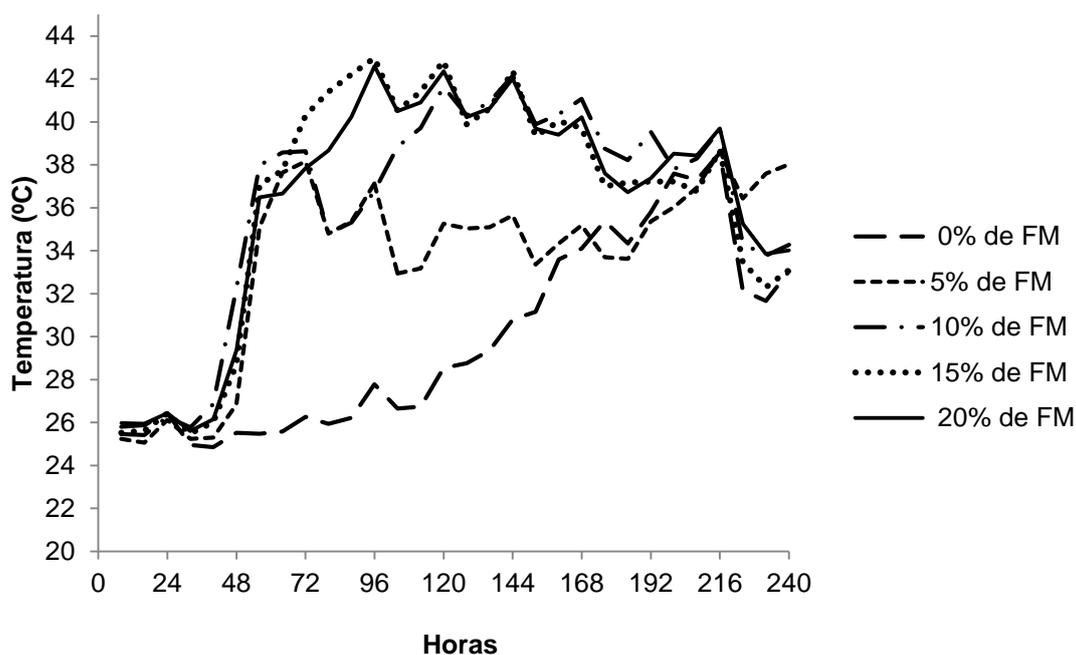


Figura 1. Médias de temperatura de silagens de cana-de-açúcar aditivadas com níveis crescentes de farelo de mamona destoxificado durante dez dias de exposição aeróbia. Equações: temperatura máxima (Tmax) = $\hat{Y} = 37,8800 + 0,2760FM$; Tmaxdias: $\hat{Y} = 7,7942 - 0,6017FM + 0,02228FM^2$; Tmaxhoras: $\hat{Y} = 187,06 - 14,4411FM + 0,5348FM^2$

A temperatura máxima da silagem controle foi superior à encontrada por BALIERO NETO et al., (2009) que verificaram para a silagem de cana-de-açúcar sem aditivo a máxima de 34,8°C. Estes autores verificaram que o uso de CaO foi eficiente em aumentar o tempo de exposição das silagens ao O₂, com adição do 0,5, 1,0 e 2,0 as temperaturas máximas foram 35,0, 30 e 26,0°C e os tempos para se atingir foram 2,8, 8, e >10 dias de exposição aeróbia. Entretanto, a cana-de-açúcar utilizada no trabalho mencionado foi colhida aos 12 meses de idade. Possivelmente, a maior quantidade de palhada presente na cana-de-açúcar, já que esta não passou pelo processo de queima, utilizada no presente trabalho, propiciou uma maior população de micro-organismos epifíticos em comparação às silagens estudadas pelos autores mencionados. Quanto maior a população de microrganismos, maior a atividade destes, promovendo as maiores temperaturas das silagens. Outros autores também observaram menores temperaturas (Tmax) nas silagens sem aditivos em comparação ao resultado observado neste trabalho (MENDES et al., 2008; REZENDE et al., 2011). O tempo que a silagem controle levou para atingir a temperatura máxima em horas foi superior ao encontrado por SCHMIDT et al.,

(2011) que observaram temperatura máxima da silagem de cana sem aditivos com 48,2 horas de exposição ao ar.

Na Tabela 4 podem ser observadas as médias de temperatura das silagens controle e aditivadas com níveis crescentes de farelo de mamona. Houve efeito quadrático ($P > 0,001$) da adição do FMD sobre a temperatura para todos os dias testados, exceto para os dias 8, 9 e 10. Em todos os dias de exposição aeróbia, foi observado diferenças nas médias de temperatura das silagens ($P > 0,001$) em relação ao efeito da inclusão do farelo de mamona. Observa-se na tabela 4, que ocorreu efeito quadrático nas médias observadas durante sete dias de exposição das silagens ao oxigênio. Nos três últimos dias, não houve diferenças ($P < 0,001$) entre as médias, sendo observadas no 8º, 9º e 10º dias 36,5; 38,0 e 34,2°C, respectivamente (Tabela 4). Foi verificada diferença ($P > 0,05$) nas médias de temperatura em relação aos dias observados. Na silagem com 5% de FMD a temperatura ao longo dos dias apresentou menos variações quando comparada aos outros tratamentos, apresentando as menores temperaturas nos dois primeiros dias (25,5 e 25,8°C), essa temperatura se elevou no terceiro dia (37,8°C), mantendo-se estável nos outros dias de exposição, apresentando uma média de temperatura de 35,6°C (Tabela 4). Em sequência, a silagem com 20% de FMD apresentaram as mais elevadas temperaturas entre o terceiro e nono dias de exposição, e as temperaturas mais baixas nos dois primeiros dias (26,1 e 27°C, respectivamente).

Tabela 4. Médias de temperatura de silagens de cana-de-açúcar aditivadas ou não com farelo de mamona destoxificado durante dez dias de exposição aeróbia.

Dia	Níveis de farelo de mamona (% MN)					1Equação	R	Valor P		CV (%)
	0	5	10	15	20			L	Q	
1	26,0EF	25,5B	25,7D	25,8E	26,1C	$\hat{Y} = 25,96 - 0,0844FM + 0,0047FM^2$	0,75	0,098	0,158	0,4
2	25,1F	25,8B	28,3D	27,1E	27,0C	$\hat{Y} = 24,896 + 0,3996FM - 0,0148FM^2$	0,80	0,001	0,001	3,9
3	25,8EF	37,0A	38,4AB	40,1B	37,0AB	$\hat{Y} = 26,489 + 2,1279FM - 0,0809FM^2$	0,95	<0,001	<0,001	10,1
4	26,6EF	35,8A	35,6BC	42,4A	40,5A	$\hat{Y} = 27,163 + 1,5507FM - 0,0432FM^2$	0,91	<0,001	<0,001	7,0
5	27,3E	33,8A	40,1AB	41,6AB	41,3A	$\hat{Y} = 27,04 + 1,7648FM - 0,0526FM^2$	0,99	<0,001	<0,001	5,0
6	29,6D	35,3A	41,A	41,0AB	41,0A	$\hat{Y} = 29,447 + 1,5577FM - 0,0495FM^2$	0,98	<0,001	<0,001	5,2
7	33,0C	34,3A	40,4A	39,9B	39,8AB	$\hat{Y} = 32,243 + 0,9377FM - 0,0276FM^2$	0,86	<0,001	0,016	5,8
8	35,2B	34,2A	38,8AB	37,1C	37,2AB	$\hat{Y} = 36,5$	-	0,067	0,170	6,1
9	37,8A	37,2A	38,6AB	37,7C	38,9AB	$\hat{Y} = 38,0$	-	0,302	0,687	4,5
10	32,3C	37,4A	34,1C	32,7D	34,4B	$\hat{Y} = 34,2$	-	0,562	0,129	5,6

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

O aumento da temperatura durante a exposição aeróbia está relacionado à deterioração da silagem pela ação de microrganismos. Após a perda dos dois principais mecanismos de conservação da silagem, ambiente anaeróbio e baixo pH, diferentes grupos de micro-organismos começam a crescer na silagem. As condições de deterioração da silagem estão mudando continuamente e, como resultado, a composição da microflora mudará (PAHLOW et al., 2003). Esse incremento na temperatura das silagens com tratadas com farelo de mamona destoxificado em relação ao controle indica silagens mais ricas nutricionalmente, uma vez que o ambiente já se encontra propício para a proliferação de microrganismos aeróbios indesejáveis como fungos, enterobactérias, bacilos e clostrídios, ou seja, aerobiose, pH elevado e substratos (carboidratos, proteínas, etc.). Como observada na Figura 1 essas silagens atingem o pico de temperatura máxima em menor tempo. O aumento nas médias de temperatura das silagens dos tratamentos (5, 10, 15 e 20% de FMD) com o passar dos dias em aerobiose apresentou comportamento semelhante ao do pH (Tabela 3), enfatizando a relação do aumento da temperatura com o desenvolvimento de microrganismos deterioradores.

Segundo REZENDE et al., (2011) as silagens podem conter quantidades de carboidratos solúveis residuais superiores, o que proporciona meio propício ao maior desenvolvimento de microrganismos deterioradores. Os principais fatores que contribuem para as perdas aeróbias em silagens são a temperatura ambiente, o tempo de exposição ao ar e as concentrações de carboidratos solúveis e ácidos orgânicos em interação com o pH (LIMA et al., 2015).

A adição de FMD às silagens reduziu ($P > 0,01$) o tempo de estabilidade aeróbia (Tabela 5). Esta variável ajustou-se ao modelo quadrático, com ponto de máxima para a silagem controle, 144,20 horas, e mínima com 24,31 horas de estabilidade aeróbia com 12,93% de FMD. Dentro dos níveis de inclusão do FMD às silagens, o tratamento que apresentou maior tempo de estabilidade aeróbia foi com 20% de FMD (51,6 horas). O FMD é um concentrado proteico, com bom valor nutricional, o que explica a maior atividade de microrganismos deterioradores e consequentemente produz uma elevação da temperatura das silagens aditivadas (Tabela 5).

Tabela 5. Variáveis de temperatura associadas à estabilidade aeróbia de silagens de cana-de-açúcar aditivadas com diferentes níveis de inclusão do farelo de mamona destoxificado.

Variável	Níveis de farelo de mamona (% MN)					Equação	PM ²	Nível	r ²	Valor de p		CV (%)
	0	5	10	15	20					L	Q	
Estabilidade	144,2	50,20	33,80	38,60	51,60	$\hat{Y} = 136,64 - 17,376FM + 0,672FM^2$	24,31	12,93	0,94	<0,01	<0,01	20,06
TAC ¹ 5 dias	-4,48	22,43	32,75	41,57	36,55	$\hat{Y} = - 4,159 + 5,3486FM - 0,1552FM^2$	41,92	17,23	0,99	<0,01	<0,01	25,61
TAC ¹ 5 – 10 dias	36,68	46,53	62,70	57,16	61,10	$\hat{Y} = 35,685 + 3,722FM - 0,1266FM^2$	63,04	14,7	0,89	<0,01	0,04	17,56
TAC ¹ 0 – 10 dias	32,20	68,96	95,45	98,74	97,65	$\hat{Y} = 31,526 + 9,0706FM - 0,2818FM^2$	104,51	16,09	0,99	<0,01	<0,01	13,48

¹TAC = temperatura média acumulada pela diferença entre a temperatura ambiente e a temperatura das silagens nos primeiros 5 dias, do quinto ao décimo dia e de zero a dez dias de exposição aeróbia.

²Ponto de Máxima ou Mínima da equação.

ANDRADE et al., (2012) avaliaram a adição de fubá de milho e casca de soja (níveis 5 e 10%), sobre aspectos qualitativos e estabilidade aeróbia de silagens de capim elefante e verificaram que houve a quebra da estabilidade aeróbia às 48h após a abertura do silo para os todos os tratamentos contendo fubá de milho individual ou em conjunto com casca de soja.

Com a abertura do silo, o oxigênio entra em contato com o material, por meio da manipulação da silagem para o fornecimento aos animais, é natural que o O₂ penetre para as camadas mais internas, contribuindo para que ocorra a multiplicação de alguns grupos de microrganismos aeróbios que consomem os compostos energéticos presentes na silagem (PAHLOW et al., 2003). A atividade microbiana e as perdas de calor por condução, radiação, evaporação e convecção provocam o aumento da temperatura da silagem, e está diretamente relacionado à oxidação da matéria seca, que provoca perdas na forma de dióxido de carbono (HILL e LEAVER, 2002).

A inclusão do FMD influenciou ($P>0,01$) o acúmulo da diferença média entre a temperatura ambiente e a temperatura das silagens nos primeiros cinco dias de exposição ao ar (TAC5), como pode ser observado na Tabela 5. A variável ajustou-se ao modelo quadrático, verificando-se ponto de máxima de 41,57°C com adição de 15% do FMD à silagem. As elevadas TACs observadas para as silagens tratadas justificam a redução no tempo de estabilidade aeróbia verificada nos tratamentos em comparação ao controle. Foi observado efeito quadrático ($P>0,01$) da adição do FMD sobre o somatório das diferenças entre a temperatura ambiente e a temperatura das silagens do quinto ao décimo dia, assim como do dia da abertura ao décimo dia de exposição. Nas duas situações o ponto de mínima foi verificado para a silagem controle (36,68 e 32,20°C) respectivamente, (Tabela 5). O acúmulo de temperatura após a abertura do silo é reflexo da intensidade de reações promovidas por fungos filamentosos, leveduras e bactérias aeróbias (AMARAL et al., 2008).

Observou-se que a inclusão de níveis crescentes de farelo de mamona destoxificado aumentou linearmente ($P<0,001$) o teor de matéria seca da cana-de-açúcar no momento da ensilagem (Tabela 6), verificando-se 0,37 pontos percentuais para cada unidade de FMD adicionada. Quando foi avaliado o teor de MS no momento da abertura dos silos, foi observado comportamento semelhante (linear

crescente: $P < 0,001$), com 0,67% de matéria seca a cada unidade de FMD incluída na silagem. Verificando-se também que os tratamentos com FMD mantiveram maiores teores de MS ($P < 0,05$) em relação ao controle (Tabela 6), indicando redução de perdas de material na ensilagem, enquanto a silagem se aditivo apresentou 35,4% de perdas de MS total, a silagem com 20% de FMD reduziu as perdas à 8,0%. O maior teor de matéria seca nos tratamentos com farelo de mamona sugere que esses materiais apresentem maiores quantidades de substratos para a atividade de micro-organismos deterioradores durante a exposição aeróbia. No terceiro, sexto e nono dias, também observou-se comportamento linear ($P < 0,001$) com a adição do FMD na silagem, cada unidade do aditivo elevou em 0,97, 1,42 e 1,23% a MS, respectivamente para os níveis de 5, 10, 15 e 20% de FMD (Tabela 6).

Tabela 6. Teores de MS de silagens de cana-de-açúcar aditivada com diferentes níveis de inclusão de farelo de mamona destoxificado antes e após a ensilagem e no terceiro, sexto e nono dias de exposição aeróbia.

Fase	Níveis de farelo de mamona (% MN)					Equação	r ²	Valor de P		CV (%)
	0	5	10	15	20			L	Q	
Ensilagem (Teor de MS)										
Antes	27,6AB	28,0C	30,8C	32,5D	34,75C	$\hat{Y} = 27,6 + 0,3768FM$	0,96	<0,001	0,025	4,21
Depois	19,3C	22,9D	27,2C	30,1D	32,4C	$\hat{Y} = 19,293 + 0,6696FM$	0,99	<0,001	0,009	2,93
Aeróbia (Teor de MS)										
3 dias	25,2B	32,0BC	37,2B	40,5C	40,5B	$\hat{Y} = 25,212 + 0,9721FM$	0,97	<0,001	0,026	4,18
6 dias	28,3 ^a	34,5AB	44,9A	51,4A	55,6A	$\hat{Y} = 28,354 + 1,4288FM$	0,98	<0,001	0,005	3,53
9 dias	28,5 ^a	36,4A	42,8A	45,9B	54,6A	$\hat{Y} = 28,531 + 1,231FM$	0,98			5,77

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Os dias de exposição aeróbia influenciaram ($P>0,05$) os teores de matéria seca das silagens (Tabela 6). A silagem controle teve menor teor de MS no dia da abertura do silo (19,3% de MS). Com o passar dos dias ocorreu aumento desta variável, não havendo diferenças no sexto e nono dia de exposição aeróbia com média de 28,4% de MS, a qual foi semelhante ($P>0,05$) àquela observada no momento da ensilagem (27,6% de MS, respectivamente). Com a adição do farelo de mamona nos níveis 5, 10, e 20%, observou-se maiores médias de MS no sexto e nono dias de exposição aeróbia. Enquanto que a silagem com 15% de FMD apresentou seu maior teor de MS no sexto dia (51,4%). Na Figura 2 podem ser observados os picos de MS das silagens aditivadas com diferentes níveis de adição do farelo de mamona destoxificado.

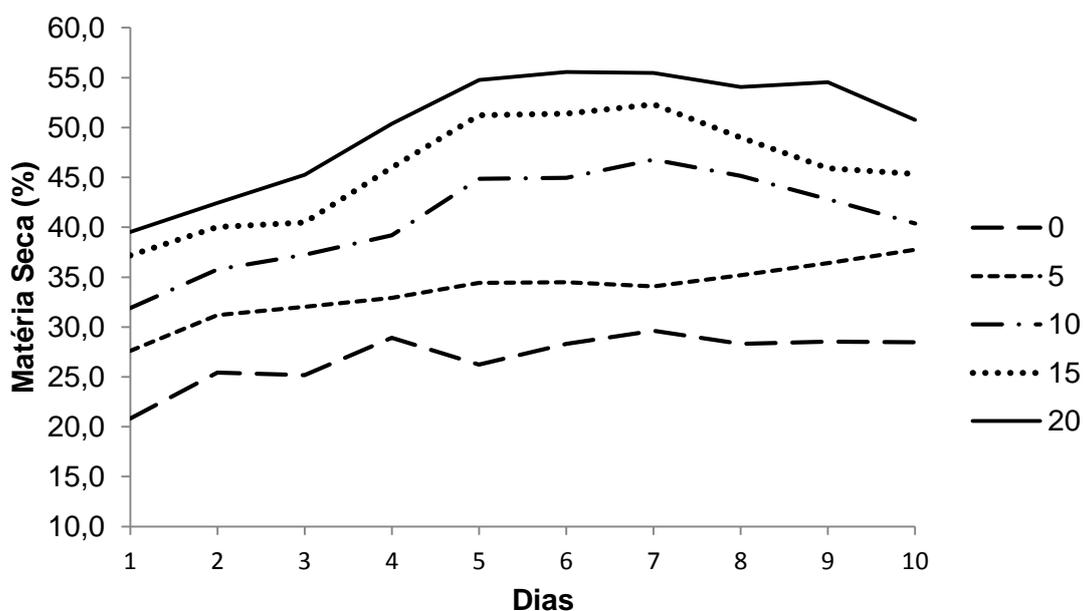


Figura 2. Teores de Matéria seca das silagens de cana-de-açúcar aditivadas com diferentes níveis de inclusão do farelo de mamona destoxificado durante dez dias de exposição ao ar

Essa variação nos teores de matéria seca ao longo dos 10 dias de exposição aeróbia pode ser atribuída à quantidade de nutrientes das silagens que estavam disponíveis para os micro-organismos deterioradores. Observou-se que a silagem controle foi a primeira a estabilizar o teor de MS, a partir do sexto dia não foram verificadas diferenças nas médias (28,3%, Figura 2). Enquanto as silagens com aditivos nos níveis 5, 10, 15 e 20% de FMD, apresentaram variação nos teores de

MS (Figura 2), observando-se que a partir do sexto dia o teor de MS reduziu. Com o aumento da temperatura da massa, pode ocorrer evaporação da água presente na silagem e concentrar a MS. O que possivelmente explica os resultados encontrados. Essa concentração da matéria seca também pode estar relacionada à maior atividade de leveduras epifíticas que são os principais micro-organismos que tem como produto da fermentação, o etanol, o qual tem característica volátil, e por estar exposto ao ar, evapora com mais facilidade que água.

9 CONCLUSÕES

A quebra de estabilidade com adição de farelo de mamona ocorre entre 30 e 50 horas de exposição aeróbia.

10 IMPLICAÇÕES

O desenvolvimento de novas técnicas e práticas que viabilizem o uso de resíduos do biodiesel como um suplemento em confinamento, surge como uma alternativa para melhorar a produção, tornando-a competitiva. Neste contexto, os órgãos de pesquisa básica e aplicada com os diversos pesquisadores envolvidos na formação e produção do conhecimento são ferramentas capazes de obter as respostas necessárias para alavancar o sistema produtivo como um todo.

Considerando que a competitividade do sistema produtivo passa principalmente pela formulação de dietas que sejam menos onerosas, o direcionamento do resíduo como o farelo de mamona para efetiva utilização na alimentação dos animais possibilitará um maior engajamento social, ambiental e econômico, uma vez que a cultura da mamona está inserida na realidade de agricultores familiares que buscam pela agregação de valores na cadeia produtiva dessa oleaginosa.

Os resultados obtidos com a realização do presente trabalho, demonstraram-se satisfatórios à respeito da utilização do farelo de mamona como aditivo na ensilagem da cana-de-açúcar, uma vez que contribuiu no valor nutritivo do volumoso estudado, elevando o teor de proteína bruta e melhorando as frações de carboidratos de rápida degradação. O resíduo foi ainda eficiente na redução do nitrogênio amoniacal e das perdas de matéria seca das silagens. A quebra de estabilidade com adição de farelo de mamona ocorre entre 30 e 50 horas de exposição aeróbia, dessa forma, novos estudos devem ser realizados a fim de se obter melhorias nesse ponto importante da conservação da forragem.

11 REFERÊNCIAS

- AMARAL, R. C. et al. Estabilidade aeróbia de silagens do capim-marandu submetidas a diferentes intensidades de compactação na ensilagem. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, n.6, p.977-983, 2008.
- ABREU, Y. V.de e NASCIMENTO, H. R. A produção da cana-de-açúcar e de etanol nas novas fronteiras agrícolas: o estado do Tocantins. **Revista Liberato**, Novo Hamburgo, v.17, n.27, p. 01-118, 2016.
- ANDRADE, A. P. et al. Aspectos qualitativos da silagem de capim-elefante com fubá de milho e casca de soja. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.33, n. 3, p. 1209-1218, 2012.
- AOAC: Official Methods of Analysis of AOAC International. 15th ed. **Association of Official Analytical Chemists**, Arlington, VA. 1990.
- AOAC: Official Methods of Analysis of AOAC International. 16th ed. **Association of Official Analytical Chemists**, Arlington, VA. 1995.
- BALIERO NETO, G. et al. Perdas fermentativas, composição química, estabilidade aeróbia e digestibilidade aparente de silagem de cana-de-açúcar com aditivos químico e microbiano. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 6, p. 621-630, 2009.
- 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, n.2, p.269-275, 2007.
- BERNARDES, T. F. et al. Estabilidade aeróbia da ração total e de silagens de capim-marandu tratadas com aditivos químicos e bacterianos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.36, n. 4, p. 754-762, 2007.
- BRASIL, Ministério da Agricultura. Culturas – Cana-de-açúcar <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/cana-de-acucar>>. Acesso: novembro de 2015.
- BUENO, C. F. D. et al. Torta de mamona destoxificada para alimentação de poedeiras comerciais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.44, n.3 p. 538-543, 2014.
- CANAL JORNAL DA BIOENERGIA - < <http://www.canalbioenergia.com.br/brasil-segundo-maior-produtor-de-biodiesel-no-mundo/>> Acesso: outubro de 2016.
- CARVALHO, F. A. L. et al. Características fermentativas na ensilagem de cana-de-açúcar com maniçoba. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.44, n.11, p. 2078-2083, 2014.
- CARVALHO, M. V. et al. Composição bromatológica e digestibilidade de cana-de-açúcar colhida em duas épocas do ano. **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science**, v.47, n.4, p. 298-306, 2010.

CASALI, A. O. et al. Influência do tempo de incubação e do tamanho de partículas sobre os teores de compostos indigestíveis em alimentos e fezes bovinas obtidos por procedimentos *in situ*. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, n.2, p. 335-342, 2008.

CAVALI, J. et al. Mixed sugarcane and elephant grass silages with or without bacterial inoculant. **Revista Brasileira de Zootecnia** v.39, n.3, p. 462-470, 2010.

CAVALI, J. et al. Bromatological and microbiological characteristics of sugarcane silages treated with calcium oxide. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, n.7, p.1398-1408, 2010a.

COBIANCHI, J. V. et al. Productive performance and efficiency of utilization of the diet components in dairy cows fed castor meal treated with calcium oxide. **Revista Brasileira de Zootecnia** v.41, n.10, p. 2238-2248, 2012.

CONAB. Acompanhamento safra brasileira de cana, v. 2 - Safra 2015/16, n. 3 - terceiro levantamento, Brasília, p. 1-65, dezembro 2015.

CRUZ, L. R. da et al. Características agrônômicas e composição bromatológica de variedade de cana-de-açúcar. **Biociência Journal**, Uberlândia, v. 30, n.6, p. 1779-1786, 2014.

CUSTÓDIO, L. Estratégias de controle de perdas de silagens de cana-de-açúcar. 2013. 90 p. Dissertação (M. Sc.) em Ciência Animal e Pastagem. Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba.

CUNNIFF, P. 1995. **Official methods of analysis of AOAC International**. 16 ed., Arlington: AOAC International, v.1.

DINIZ, L. L. et al. Castor bean meal for cattle finishing: 1- Nutritional parameters. **Livestock Science**. v.135, p. 153–167, 2010.

FERRAZ, D. A. et al. Fracionamento de carboidratos das silagens de cana-de-açúcar com ureia e farelo de mandioca. **Revista Científica de Produção Animal**, v.13, n.1, p. 33-37, 2011.

FURTADO, R. N. et al. Valor nutritivo de dietas contendo torta de mamona submetida a métodos alternativos de destoxificação para ovinos. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, MG, v.64, n.1, p.155-162, 2012.

GENTIL, R. M. et al. Resíduos sólidos orgânicos provenientes da extração de oleaginosas para biodiesel e seus potenciais de uso. **Revista eletrônica do curso de geografia**. Jataí: GO. n.18, 2012.

GOMES, M. A. B. et al. Aerobic stability, chemical composition and ruminal degradability of sugarcane silage with glycerin from biodiesel. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 36, n. 3, p. 1531-1544, 2015.

HILL, J.; LEAVER, J. D. Changes in chemical composition and nutritive value of urea treated whole crop wheat during exposure to air. **Animal Feed Science and Technology** v.102, p. 181-195, 2002.

HOLDEN, L. A. Comparison of methods of in vitro dry matter digestibility for ten feeds. **Jornal Dairy Science**, v.82, n.8, p. 1791-1794, 1999.

JOBIM, C. C. et al. Avanços metodológicos na avaliação da qualidade da forragem conservada. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.36, suplemento especial, p. 101-119, 2007.

LIMA, E M. de; et al. 2015. Deterioração aeróbia de silagens. **Revista Eletrônica Nutritime**, At.299 v.12, n. 2, p. 3996– 4003, 2015.

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** v.39, n.5, p. 984-991, 2010.

MAEDA, E. M. et al. Chemical composition, fermentation, *in vitro* digestibility and *in situ* degradability of sugar cane silages with *Lactobacillus*, urea and agricultural byproduct. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.40, n.12, p. 2866-2877, 2011.

MARTINS, S. C. S. G. et al. Qualitative parameters of sugarcane silages treated with urea and calcium oxide. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 36, n. 2, p. 1135-1144, 2015.

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

McDONALD P. 1981. **The biochemistry of silage**. New York: John Wiley. 207p.

MENDES, C. Q. et al. Efeito do *Lactobacillus buchneri* na fermentação, estabilidade aeróbia e no valor nutritivo de silagem de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, n. 12, p. 2191-2198, 2008.

MENEZES, D. R. et al. Cinética ruminal de dietas contendo farelo de mamona destoxificado. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.67, n.2, p.636-641, 2015.

MERTENS, D. R. Gravimetric determination of amylase-treated neutral detergent fiber in feed with refluxing beakers or crucibles: collaborative study. J. **AOAC Int.** 85, p.1217-1240, 2002.

MUCK, R. E. Silage microbiology and its control through additives. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, supl spe, p. 183-191, 2010.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. **Nutrient requirements of dairy cattle**. 7. ed. Washington D.C.: National Academy Press, 289 p. 2001.

NOVINSKI, C. O. et al. Methods of lab silo sealing and fermentation characteristics and aerobic stability of sugarcane silage treated with microbial additive. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.41, n.2, p.264-270, 2012.

O'KIELY, P. et al. **Maximising output of beef within cost efficient, environmentally compatible forage conservation systems**. Dunsany: Grange Research Centre, 1999. 64p. (Beef Productions Series, 10).

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** v.67, n.1, p.181-188, 2015.

OLIVEIRA, A. S. et al. Nutrient digestibility, nitrogen metabolism and hepatic function of sheep fed diets containing solvent or expeller castorseed meal treated with calcium hydroxide. **Animal Feed Science Technology**, v.158, p.15–28, 2010.

OLIVEIRA, A. S. et al. Eficácia de diferentes métodos de destoxificação da ricina do farelo de mamona. In: II Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel, 2007, Brasília, **Anais...** CD-ROM Brasília: MCT/ABIPTI, p. 1-6, 2007.

PAHLOW, G. et al. Microbiology of Ensiling. Madison: American Society of Agronomy, 63p. WI 53711, USA. **Silage Science and Technology, Agronomy Monograph**, n. 42. DOI: 10.2134/agronmonogr42.c2 · Source: OAI, 2003.

PELL, A. N.; SCHOFIELD, P. Computerized monitoring of gas production to measure forage digestion in vitro. **Journal of Dairy Science**, v.76, n.4, p.1063-1073, 1993.

QUEIROZ, M. A. A. et al. Características fermentativas e bromatológicas de silagens de cana-de-açúcar com taboa. **Ciência Rural** v.45, n.1, p. 136-141, 2015.

REZENDE, A. V. et al. Perdas fermentativas e estabilidade aeróbia de silagens de cana-de-açúcar tratadas com cal virgem e cloreto de sódio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, n. 4, p. 739-746, 2011.

RIBEIRO, L. S. O. et al. Características fermentativas, composição química e fracionamento de carboidratos e proteínas de silagem de capim-elefante emurcheado ou com adição de torta de mamona. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 35, n.3, p.1447-1462, 2014.

RIBEIRO, L. S. O. et al. Composição química e perdas fermentativas de silagem de cana-de-açúcar tratada com ureia ou hidróxido de sódio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, n.9, p. 1911-1918, 2010.

RODRIGUES, P. R. et al. Effect of additives on the physical and chemical characteristics of sugarcane silage. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, 36, n.4, p. 2753-2762, 2015.

ROMÃO, C. O. et al. Fracionamento de carboidratos e degradabilidade ruminal da cana-de-açúcar tratada com óxido de cálcio. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v.65, n.2, p.537-546, 2013.

SAEG – Sistema para Análises Estatísticas, Versão 9.1: **Fundação Arthut Bernardes** – UFV – Viçosa, 2007.

SCHMIDT, P. et al. 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, **Anais...** Maringá: UEM, p.243-264, 2014.

SCHMIDT, P. et al. Novos aditivos microbianos na ensilagem da cana-de-açúcar: composição bromatológica, perdas fermentativas, componentes voláteis e estabilidade aeróbia. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.40, n.3, p. 543-549, 2011.

SCHMIDT, P. 2009. Improved efficiency of sugarcane ensiling for ruminant supplementation. *In*: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FORAGE QUALITY AND CONSERVATION, 1., 2009, São Pedro. **Proceedings...** Piracicaba: FEALQ, p.47-72.

SILVA, D. J.; QUEIROZ, A. C. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. 3.ed. Viçosa: UFV, 235p. 2002.

SIQUEIRA, G. R. et al. Uso da cana-de-açúcar na alimentação de ruminantes. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador, v.13, n.4, p.991-1008, 2012.

SNIFFEN, C. J.; O'CONNOR, D. J.; VAN SOEST, P. J.; FOX, D. G.; RUSSE, J. B. 1992. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: carbohydrate and protein availability. *Journal of Dairy Science*, Madison, v.70: 3562-3577.

SOUZA, R. S. C. et al. Unlocking the bacterial and fungal communities assemblages of sugarcane microbiome. **Scientific Reports**. 6:28774 DOI: 10.1038/srep28774., 2016.

SPRAGUE, M. A. Oxygen disappearance in alfalfa silage (*Medicago sativa* L.). p. 651–656. *In* V. G. Iglovikov and A. P. Movsisyants (ed.) Proc. Int. Grassland Congress, 12th. Vol. 3, Part 2. Moscow. 11–20 June 1974. **Russian Academy of Agricultural Sciences**.

TILLEY, J. M. A.; TERRY, R. A. A two-stage technique for the in vitro digestion forage crops. **The Grassland Research Institute**, Hurley, Berks, 1963.

VAN SOEST, P. J. **Nutritional Ecology of the Ruminant**. New York: Cornell University Press 476p, 1994.

VAN SOEST, P. J. et al. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. **Journal of Dairy Science**, v.74, p.3583-3597, 1991.

WEISS, W. P. et al. A theoretically based model for predicting total digestible nutrient values of forages and concentrates. **Animal Feed Science and Technology**, v.39, p.95-110, 1992.

WILKINS, R. J.; SYRJÄLÄ, L.; BOLSEN, K. K. The future of silage in sustainable animal production.: *In*: XII International Silage Conference. , Uppsala, SWEDEN,

Anais... p. 23-40, 2015.

WOOLFORD, M. K. The detrimental effects of air on silage. **Journal of Applied Microbiology**, v. 68, p. 101-116, 1990.