

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**EFEITO DO TAMANHO DE PARTÍCULA NA
ENSILABILIDADE E NO VALOR NUTRITIVO DE SILAGENS
DE CANA-DE-AÇÚCAR PARA BOVINOS DE CORTE**

Andressa Fernanda Campos
Zootecnista

2015

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**EFEITO DO TAMANHO DE PARTÍCULA NA
ENSILABILIDADE E NO VALOR NUTRITIVO DE SILAGENS
DE CANA-DE-AÇÚCAR PARA BOVINOS DE CORTE**

Andressa Fernanda Campos

Orientador: Dr. Gustavo Rezende Siqueira

Coorientador: Prof. Dr. Ricardo Andrade Reis

**Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de
Jaboticabal, como parte das exigências para
a obtenção do título de Doutor em Zootecnia**

2015

C198e Campos, Andressa Fernanda
Efeito do tamanho de partícula na ensilabilidade e no valor nutritivo de silagens de cana-de-açúcar para bovinos de corte / Andressa Fernanda Campos. -- Jaboticabal, 2015
ix, 87 p. ; 28 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2015

Orientador: Gustavo Rezende Siqueira

Banca examinadora: Izabelle Auxiliadora M. de Almeida Teixeira, Wignez Henrique, Odilon Gomes Pereira, João Luiz Pratti Daniel

Bibliografia

1. Comportamento ingestivo. 2. Índice de seleção. 3. Parâmetros ruminais. 4. Perdas de matéria seca. 5. População de leveduras. 6. Taxa de passagem. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 636.2:636.085.52



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

CAMPUS DE JABOTICABAL

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS DE JABOTICABAL

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO


TÍTULO: EFEITO DO TAMANHO DE PARTÍCULA NA ENSILABILIDADE E NO VALOR NUTRITIVO DE SILAGENS DE CANA-DE-AÇÚCAR PARA BOVINOS DE CORTE

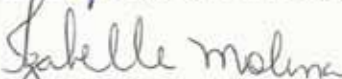
AUTORA: ANDRESSA FERNANDA CAMPOS

ORIENTADOR: Prof. Dr. GUSTAVO REZENDE SIQUEIRA


CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. RICARDO ANDRADE REIS

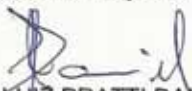
Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de DOUTOR EM ZOOTECNIA, pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. GUSTAVO REZENDE SIQUEIRA
Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios / Colina/SP


Profa. Dra. IZABELLE AUXILIADORA M. DE ALMEIDA TEIXEIRA
Departamento de Zootecnia / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal


Profa. Dra. WIGNEZ HENRIQUE
Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios / São José do Rio Preto/SP


Prof. Dr. ODILON GOMES PEREIRA
Universidade Federal de Viçosa / Viçosa/MG


Prof. Dr. JOAO LUIZ PRATTI DANIEL
Universidade de São Paulo / Piracicaba/SP

Data da realização: 29 de janeiro de 2015.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

ANDRESSA FERNANDA CAMPOS – filha de Carlos Humberto Campos e Rosely Maria Ferreira, nasceu em 14 de julho de 1984, na cidade de Jales - SP. Iniciou o curso de graduação em Zootecnia em março do ano de 2003, na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV) da Universidade Estadual Paulista, Campus de Jaboticabal – SP, onde foi bolsista de monitoria da disciplina de graduação de Nutrição Animal e bolsista de iniciação científica da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), obtendo o título de Zootecnista em dezembro de 2007. Em março de 2009, ingressou no curso de pós-graduação em Zootecnia, da Universidade Federal de Viçosa - MG, obtendo o título de Mestre em Zootecnia em fevereiro de 2011. Em março deste mesmo ano iniciou o curso de Doutorado em Zootecnia na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV) da Universidade Estadual Paulista, Campus de Jaboticabal – SP. De novembro de 2013 a março de 2014 realizou estágio de pesquisa no exterior, na Universidade da Flórida, na cidade de Gainesville, sob a orientação do Dr. Adegbola T. Adesogan. Em janeiro de 2015, submeteu-se a defesa de tese.

*Ninguém me disse que seria fácil,
mas extraordinários foram aqueles que me
ensinaram que no final, tudo valeria a pena!*

A Deus, luz de sabedoria que ilumina o meu caminho...

Ofereço

À minha mãe, pessoa de admirável caráter e verdadeiro amor por seus filhos.

Ao meu pai, por todo afeto dedicado.

Ao meu irmão, por ser uma das pessoas em que me espelho para seguir o caminho da vida,

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Universidade Estadual Paulista pela oportunidade dada a mim de estudar em umas das Universidades mais conceituadas do país.

A Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP pela concessão da bolsa de estudos no Brasil e pela bolsa de estágio no exterior (BEPE), além do auxílio à pesquisa.

Ao Polo Regional da Alta Mogiana, situada na cidade de Colina-SP, pertencente a Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios por me proporcionar totais condições para o desenvolvimento do meu experimento. A todos os funcionários da APTA-Colina pela ajuda na realização da parte de campo e laboratorial do experimento

Ao professor Dr. Gustavo Rezende Siqueira, por acreditar em mim e no meu trabalho. Foram horas de conversas científicas e ditados importantes que levo para a vida toda como a forma mais nobre de aprendizado. O senhor foi quem me encorajou quando mais precisei e me mostrou o quanto eu sou capaz.

Ao Prof. Dr. Ricardo Andrade Reis, a quem eu devo toda a minha experiência científica. Fico extremamente lisonjeada de ter sido chamada pelo senhor de “minha orientada”.

A todos os professores das bancas, tanto de qualificação quanto de defesa, pelas contribuições e enriquecimento dessa tese.

Aos pesquisadores da APTA-Colina, principalmente a Dr. Regina Kitagawa Grizotto e o Prof. Dr. Flávio Dutra de Resende por estarem presentes. Foram momentos e ensinamentos enriquecedores que estarão sempre comigo.

Ao Prof. Dr. Adegbola Tololupe Adesogan por ter sido o meu orientador no doutorado sanduiche, ensinando-me o valor de um “american research team”. Thank you so much and ‘all the best’.

A todos que participaram da minha vida nos EUA, Rafael, Felipe, Kathy Arriola, Dr. Vânia e seus filhos, Zhengxin, Yún, Ibukun e Dr. Bank.

Ao Fabrício, alguém que se dedicou a me ajudar, a me ouvir quando necessário e a ficar sempre ao meu lado, mesmo estando muito distantes.

As pessoas que estiveram presentes na Hospedaria da APTA-Colina durante a minha estadia. Obrigada pela convivência.

Aos estagiários Allan, Vitor e Natã pela grande ajuda, pois sem vocês não teria sido possível a realização desse trabalho. Aos funcionários Sidney (Assobiu) e Miltinho, Toinzim, Lori, Seu Osvaldo, Rodolfo Toga e todos os outros que participaram direta ou indiretamente do experimento.

A todos os amigos de Colina, Thais Brait, Aline Pessim, Vanessa Peres, Paloma Gonçalves, Fernandinha, agradeço os momentos inesquecíveis de amizade e que, sem esses, deixariam meus dias bem menos divertidos.

A minha grande amiga Michelle Dornelles que mesmo a distância sempre se manteve presente me ajudando, me dando conselhos, conversando por várias horas seguidas, enfim... fazendo parte da minha vida.

Aos animais experimentais por abrilhantarem esse trabalho e que sem eles, nada seria possível.

E, por fim, gostaria de expressar a minha sincera gratidão a todas as pessoas presentes durante esses anos de doutorado e que me deram o seu apoio, respeito e amizade.

SUMÁRIO

RESUMO.....	iv
ABSTRACT.....	v
LISTA DE FIGURAS.....	vi
LISTA DE TABELAS.....	viii

CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS

1. Introdução.....	1
2. Revisão de Literatura.....	2
2.1. Cana-de-açúcar e sua silagem: características e limitações.....	3
2.2. Efeito do tamanho de partícula na ensilagem da cana-de-açúcar.....	6
2.3. Conceito de fibra efetiva e seu efeito na nutrição animal.....	10
3. Referências.....	15

CAPÍTULO 2 – ENSILAGEM DA CANA-DE-AÇÚCAR COM DIFERENTES TAMANHOS DE PARTÍCULAS: PERFIL FERMENTATIVO E ESTABILIDADE AERÓBIA

RESUMO.....	22
ABSTRACT.....	23
Introdução.....	24
Material e métodos.....	25
Resultados.....	30
Ano 1.....	30
Ano 2.....	36
Discussão.....	42
Conclusões.....	48
Referências.....	49

CAPÍTULO 3 – SILAGEM DE CANA-DE-AÇÚCAR COM DIFERENTES TAMANHOS DE PARTÍCULAS COMO FONTE DE FIBRA EFETIVA EM DIETAS DE BOVINOS DE CORTE

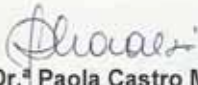
RESUMO.....	53
ABSTRACT	55
Introdução	57
Material e métodos.....	58
Localização e condições climáticas.....	58
Ensilagem da cana-de-açúcar.....	58
Determinação dos tamanhos médios de partículas.....	60
Animais e dietas experimentais.....	61
Consumo dos nutrientes.....	63
Digestibilidade aparente dos nutrientes	64
Taxa de passagem e tempo de retenção ruminal	64
Índice de seleção e composição bromatológica das sobras	65
Comportamento ingestivo e fator de efetividade física real.....	65
Desempenho produtivo	66
Parâmetros ruminais	66
Análises estatísticas.....	67
Resultados	67
Consumo e digestibilidade aparente total dos nutrientes	68
Taxa de passagem e tempo de retenção ruminal	69
Índice de seleção e composição bromatológica das sobras	70
Comportamento ingestivo e fator de efetividade física real.....	72
Desempenho produtivo	73
Parâmetros ruminais	74
Discussão.....	77
Consumo e digestibilidade aparente total dos nutrientes.....	77
Taxa de passagem e tempo de retenção ruminal	79
Índice de seleção e composição bromatológica das sobras	80
Comportamento ingestivo e fator de efetividade física real.....	81
Desempenho produtivo	82
Parâmetros ruminais	83
Conclusões.....	84
Referências	84

CEUA – COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS

CERTIFICADO

Certificamos que o Protocolo nº 019333/14 do trabalho de pesquisa intitulado **"Ensilagem da cana-de-açúcar com diferentes tamanhos de partículas"**, sob a responsabilidade do Prof. Dr. Gustavo Rezende Siqueira, está de acordo com os Princípios Éticos na Experimentação Animal adotado pelo Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal (CONCEA) e foi aprovado pela COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS (CEUA), em reunião ordinária de 09 de outubro de 2014.

Jaboticabal, 09 de outubro de 2014.


Prof.ª Dr.ª Paola Castro Moraes
Coordenadora – CEUA

EFEITO DO TAMANHO DE PARTÍCULA NA ENSILABILIDADE E NO VALOR NUTRITIVO DE SILAGENS DE CANA-DE-AÇÚCAR PARA BOVINOS DE CORTE

RESUMO – Objetivou-se determinar o tamanho médio de partícula ideal para a ensilagem da cana-de-açúcar e o uso na alimentação animal. Para isso, foram realizados dois experimentos. No experimento 1, silos experimentais foram utilizados para avaliar o perfil fermentativo (0, 3, 7, 14, 28 e 56 dias de armazenamento) das silagens com quatro diferentes tamanhos de partículas, que compuseram os seguintes tratamentos: T5: silagem de cana-de-açúcar picada a 5 mm; T10: silagem de cana-de-açúcar picada a 10 mm; T15: silagem de cana-de-açúcar picada a 15 mm e T20: silagem de cana-de-açúcar picada a 20 mm. Nas silagens com 56 dias de armazenamento foram determinadas as perdas de matéria seca e realizadas análises químicas, além da estabilidade aeróbia, por 12 dias. Com 4, 8 e 12 dias de exposição aeróbia, o crescimento da população de leveduras e os valores de pH foram determinados. Esse experimento foi realizado por dois anos consecutivos, sendo as mesmas variáveis analisadas. No segundo experimento, avaliaram-se silagens de cana-de-açúcar com os mesmo tamanhos de partículas, armazenadas em silos tipo superfície, e utilizadas em dietas para bovinos de corte em confinamento. Nas avaliações de desempenho produtivo, consumo dos nutrientes, comportamento ingestivo e índice de seleção foram utilizados 40 bovinos da raça Nelore, com 20 meses de idade e peso corporal inicial de 395 ± 23 kg, confinados por 99 dias. Para o estudo de parâmetros ruminais e taxa de passagem da fibra, foram utilizados 8 bovinos da raça Nelore, com 24 meses de idade e 470 ± 34 kg, com cânula ruminal. As dietas com diferentes tamanhos de partículas das silagens afetaram o consumo dos nutrientes, exceto para a fibra em detergente neutro, além dos tempos desprendidos com ruminção e mastigação pelos animais, promovendo consumos preferenciais das frações das dietas, mas não afetou o ganho de peso diário dos animais, com ganho médio de $1,49 \text{ kg}\cdot\text{dia}^{-1}$. Diferentes tamanhos de partículas influenciam no perfil fermentativo e na composição química da silagem de cana-de-açúcar, mas que esse fator não é o único definidor da qualidade final da silagem. Tamanhos de partículas mais elevados induzem a seleção da dieta pelos animais, com consumo preferencial de partículas menores, mas não afeta o desempenho produtivo e os parâmetros ruminais.

Palavras-chave: Comportamento ingestivo, índice de seleção, parâmetros ruminais, perdas de matéria seca, população de leveduras, taxa de passagem

EFFECT OF PARTICLE SIZE IN ENSILAGE AND NUTRITIONAL VALUE OF SUGARCANE SILAGE FOR BEEF CATTLE

ABSTRACT – This study aimed to determine the ideal average particle size for sugarcane silage and its use in animal feed. For this, two experiments were conducted. In experiment 1, experimental silos were used to evaluate the fermentative profile (0, 3, 7, 14, 28 and 56 days) of the silage with four different particle sizes, composing the following treatments: T5: sugarcane silage chopped to 5 mm; T10: sugarcane silage chopped to 10 mm; T15: sugarcane silage chopped to 15 mm and T20: sugarcane silage chopped to 20 mm. In the silages with 56 days of storage, were determined the dry matter losses and evaluated chemical composition and aerobic stability for 12 days. The yeast population and pH values were determined in 4, 8 and 12 days of air exposure. This experiment was carried out for two consecutive years, with the same variables. In the second experiment, sugarcane silages with the same particle size were stored in silos type surface, and used in diets for beef cattle feedlot. For evaluation of productive performance, nutrients intake, feeding behavior and selection index, were used 40 Nellore young bulls with 20 months of age and 395 ± 23 kg of initial body weight, confined for 99 days. For the study of ruminal fermentation and passage rate of the fiber, were used 8 Nellore young bulls with 24 months of age and 470 ± 34 kg of body weight, with ruminal cannula. The diets with different particle sizes of silages affected the nutrients intake, except for the neutral detergent fiber (NDF), besides the rumination and chewing times by animals, promoting preferential intake of diets fractions, but there was not effect for average daily gain, with an average gain of 1.49 kg.dia⁻¹. Different particle sizes influence to fermentation characteristics and chemical composition of sugarcane silage, but this factor is not the only defining the silage quality. Higher particles size induces the diet selection by animals, with preferential intake of smaller particles, but there is not effect in the productive performance.

Keywords: Feeding behavior, selection index, ruminal fermentation, dry matter losses, yeast population, passage rate

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 2 – Ensilagem da cana-de-açúcar com diferentes tamanhos de partículas: perfil fermentativo e estabilidade aeróbia

- Figura 1 - População de levedura (A) e pH (B) das silagens de cana-de-açúcar com diferentes tamanhos de partículas em diferentes tempos de armazenamento. T: valor de probabilidade para TMP; D: valor de probabilidade para dias de armazenamento; T*D: valor de probabilidade para a interação entre TMP e dias de armazenamento. EPM – erro padrão da média – Ano 131
- Figura 2 - População de levedura (A) e pH (B) das silagens de cana-de-açúcar com diferentes tamanhos de partículas em diferentes tempos de exposição aeróbia. T: valor de probabilidade para TMP; D: valor de probabilidade para dias de exposição aeróbia; T*D: valor de probabilidade para a interação entre TMP e dias de exposição aeróbia. EPM – erro padrão da média – Ano 135
- Figura 3 - População de levedura (A) bactérias ácido-láticas (B) e pH (C) das silagens de cana-de-açúcar com diferentes tamanhos de partículas em diferentes tempos de armazenamento. T: valor de probabilidade para TMP; D: valor de probabilidade para dias de armazenamento; T*D: valor de probabilidade para a interação entre TMP e dias de armazenamento. EPM – erro padrão da média – Ano 238
- Figura 4 - População de levedura (A) e pH (B) das silagens de cana-de-açúcar com diferentes tamanhos de partículas em diferentes tempos de exposição aeróbia. T: valor de probabilidade para TMP; D: valor de probabilidade para dias de exposição aeróbia; T*D: valor de probabilidade para a interação entre TMP e dias de exposição aeróbia. EPM – erro padrão da média – Ano 241

CAPÍTULO 3 – Silagem de cana-de-açúcar com diferentes tamanhos de partículas como fonte de fibra fisicamente efetiva em dietas de bovinos de corte

Figura 1 - Índice de seleção de bovinos de corte alimentados com dietas contendo silagem de cana-de-açúcar com diferentes tamanhos de partículas..... 71

Figura 2 - Interação entre tamanho médio de partícula (TMP) e tempos de colheita para a razão acetato:propionato de bovinos de corte alimentados com dietas contendo silagem de cana-de-açúcar com diferentes tamanhos de partículas. T: valor de probabilidade para TMP; D: valor de probabilidade para dias de armazenamento; T*D: valor de probabilidade para a interação entre TMP e dias de armazenamento. EPM – erro padrão da média 77

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2 – Ensilagem da cana-de-açúcar com diferentes tamanhos de partículas: perfil fermentativo e estabilidade aeróbia

Tabela 1 - Composição química, características fermentativas e microbiológicas da forragem fresca de cana-de-açúcar nos dois anos de avaliações.....27

Tabela 2 - Distribuição e tamanho médio de partículas e densidade das diferentes silagens de cana-de-açúcar – Ano 130

Tabela 3 - Perdas de matéria seca, composição química e digestibilidade *in vitro* da matéria seca das silagens com diferentes tamanhos de partículas após 56 dias de armazenamento – Ano 1.....33

Tabela 4 - Estabilidade aeróbia das silagens de cana-de-açúcar com diferentes tamanhos de partículas – Ano 136

Tabela 5 - Distribuição e tamanho médio de partículas e densidade das diferentes silagens de cana-de-açúcar – Ano 237

Tabela 6 - Perdas de matéria seca, composição química e digestibilidade *in vitro* da matéria seca das silagens com diferentes tamanhos de partículas após 56 dias de armazenamento – Ano 2.....40

Tabela 7 - Estabilidade aeróbia das silagens de cana-de-açúcar com diferentes tamanhos de partículas – Ano 2.....42

CAPÍTULO 3 – Silagem de cana-de-açúcar com diferentes tamanhos de partículas como fonte de fibra fisicamente efetiva em dietas de bovinos de corte

Tabela 1 - Composição bromatológica e características fermentativas das silagens de cana-de-açúcar com diferentes tamanhos de partículas60

Tabela 2 - Composição bromatológica e distribuição dos tamanhos médios de partículas das dietas experimentais contendo silagens de cana-de-açúcar com diferentes tamanhos de partículas	62
Tabela 3 - Consumo e digestibilidade aparente dos nutrientes de bovinos de corte alimentados com silagem de cana-de-açúcar com diferentes tamanhos de partículas.....	69
Tabela 4 - Taxa de passagem de sólidos e tempo de retenção ruminal de bovinos de corte alimentados com dietas contendo silagem de cana-de-açúcar com diferentes tamanhos de partículas	70
Tabela 5 - Composição bromatológica das sobras das dietas de bovinos de corte alimentados com silagem de cana-de-açúcar com diferentes tamanhos de partículas.....	71
Tabela 6 - Comportamento ingestivo de bovinos de corte alimentados com silagens de cana-de-açúcar com diferentes tamanhos de partículas	73
Tabela 7 - Desempenho produtivo e características de carcaça de bovinos de corte alimentados com silagem de cana-de-açúcar com diferentes tamanhos de partículas.....	74
Tabela 8 - Parâmetros ruminais de bovinos de corte alimentados com dietas contendo silagens de cana-de-açúcar com diferentes tamanhos de partículas.....	75

CAPÍTULO 1 – Considerações gerais

1. Introdução

No Brasil, a criação de bovinos de corte para produção de carne é uma exploração que utiliza principalmente pastagens. Contudo, a necessidade de intensificação dos sistemas de produção para maximizar a produtividade faz com que o uso do confinamento na fase de terminação esteja em ascensão.

O número de animais confinados cresceu rapidamente e a atividade tornou-se uma intensa indústria de produção de carne bovina, promovendo ganhos em escala e qualidade (PAULINO et al., 2013). Segundo o site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), no primeiro semestre de 2014, foram abatidos 8,367 milhões de cabeças de bovinos, sendo 2,9% superior ao mesmo período do ano de 2013. Nos comparativos anuais dos mesmos trimestres, em 2014, houve o décimo aumento consecutivo em que se tem observado aumento da quantidade de bovinos abatidos.

O uso de altas proporções de volumosos como fonte de energia sempre foi explorado, mas com o crescimento da agricultura nacional e com a oferta competitiva de grãos e coprodutos da indústria, esse uso de volumoso está sendo diminuindo para a obtenção de dietas com maiores densidade energética. De acordo com Oliveira & Milen (2011), a maioria dos confinamentos brasileiros, cerca de 82%, está utilizando dietas com formulação de 71 a 90% de concentrado. Em função do aumento da concentração energética, alimentos altamente fermentescíveis e baixa concentração de fibra podem aumentar o número de distúrbios ruminais, com diminuição do desempenho esperado.

Para manutenção da taxa de ganho em peso, a inclusão de um coproduto com alta efetividade em dietas de alta porcentagem de grãos tornou-se uma prática comum. O bagaço de cana-de-açúcar foi muito explorado nos anos 2000 devido ao grande excedente e baixo valor comercializável. Com a escassez de energia elétrica e com o potencial de geração de energia, esse coproduto é utilizado como cogenerador de energia, tanto para consumo da indústria quanto para venda às concessionárias (GUIMARÃES et al., 2012). O valor de venda de energia elétrica,

em megawatt/hora, passou dos R\$ 23,40 oferecidos em janeiro de 2012 para o valor em dezembro de 2013 de R\$ 290,72, e em fevereiro de 2014 chegou a R\$ 822,83 (AGUIAR, 2014). A valorização do megawatt indica que ficou difícil comprar bagaço de cana-de-açúcar devido à escassez e ao custo.

Com a diminuição do uso do bagaço, a busca por fontes de fibra vindas de forrageiras que apresentem alta produção e sejam aptas à conservação torna-se estratégia fundamental para o sucesso econômico do sistema de confinamento. Nesse contexto, a cana-de-açúcar, por apresentar as características desejáveis, retoma como opção forrageira aos confinadores.

O uso da cana-de-açúcar em corte diário foi a primeira forma de manejo utilizada para fornecimento aos animais, mas a falta de logística levou os produtores a adotarem técnicas de ensilagem para garantir que parâmetros agrônômicos de rebrota não fossem prejudicados. A ensilagem da cana-de-açúcar apresenta características positivas, mas se observa elevados índices de perda matéria seca devido à fermentação alcoólica realizada por leveduras (PEDROSO et al., 2005). Como forma de controlar essas perdas, pesquisas com uso de aditivos foram extensivamente realizadas (SCHMIDT, 2008), mas fatores agrônômicos e de manejo, como o tamanho de partícula no momento da ensilagem, ainda não foram avaliados.

O tamanho de partícula é um fator importante de manejo da forrageira, pois aumenta a densidade da massa ensilada, favorecendo a anaerobiose dentro do silo e proporcionando diminuição da população de microrganismos aeróbios (MUCK et al., 2003). Além disso, essa característica pode afetar tanto o consumo pelos animais, devido à modificação da taxa de passagem, quanto os parâmetros ruminais, quando as silagens são fornecidas como fonte de fibra em dietas de bovinos de corte confinados.

Com isso, esse estudo objetivou avaliar o efeito do tamanho de partícula na ensilabilidade e no valor nutritivo de silagens de cana-de-açúcar para bovinos de corte.

2. Revisão de Literatura

2.1. Cana-de-açúcar e sua silagem: características e limitações

A cana-de-açúcar é uma gramínea classificada como semi-perene, pertencente ao gênero *Saccharum*, sendo que há mais de 30 espécies conhecidas, proveniente do sul e sudoeste asiático e que foi introduzida no país na época da colonização, mas a intensificação de cultivo foi dada quando houve a expansão da produção açucareira.

As tradições de cultivo, facilidades no estabelecimento e manejo da cultura, maior disponibilidade nos períodos de escassez de forragens nas pastagens e flexibilidade no plantio e corte representam algumas vantagens da utilização da cana-de-açúcar em dietas de ruminantes. As características relevantes são alta produção de massa de forragem por hectare, podendo chegar a mais de 100 t/ha, a qual pode resultar em um menor custo por unidade de matéria seca (MS) produzida, além da alta produção de energia por área (15 a 20 t NDT/ha) na época de maturação fisiológica (SCHMIDT, 2009).

A cana-de-açúcar apresenta características agrônômicas importantes, mas possui limitações como baixo teor proteico e de minerais, além de uma fração fibrosa de baixíssima qualidade, que a classifica como um alimento que não deve ser fornecido para animais de alto potencial genético.

O baixo teor de proteína bruta (PB) sempre foi considerado um dos maiores empecilhos para a adoção da cana-de-açúcar como alimento volumoso para ruminantes, pois os valores variam de 1,91 a 3,81% (BONOMO et al., 2009). Apesar disso, SIQUEIRA et al. (2012) mostraram que o baixo valor de PB pode ser a maior vantagem competitiva da cana-de-açúcar quando comparada a culturas como milho e sorgo, pois é mais eficiente na síntese de biomassa em função da quantidade de nitrogênio aplicado. Essa forrageira possui alta eficiência fotossintética no sistema de fixação de CO₂, pois há participação das enzimas ribulose 1-5 di fosfato carboxilase (RUDP) associada à fosfoenol pirúvico carboxilase (PEP). Essa maior eficiência fotossintética das plantas com ciclo C₄, como a cana-de-açúcar, refere-se a adaptação a altas temperaturas (35 a 38 °C), associada a alta eficiência de uso de água e do nitrogênio (LONG, 1999; MOSER et al., 2004). Apesar da baixa concentração de nitrogênio ser considerada nutricionalmente como uma limitação,

conclui-se que pode ser transformada em uma característica agrônômica interessante de alta adaptabilidade em condições comumente encontradas no Brasil, de alta temperatura e luminosidade.

A principal limitação nutricional da cana-de-açúcar é a fração fibrosa, pois possui uma concentração moderada, em torno de 50 a 60% de FDN, com base na MS (FERNANDES et al., 2003), mas com baixa digestibilidade, com valores de 20 a 30% (OLIVEIRA et al., 2012). Esse fato pode ser resultado da presença de lignina, que está arranjada de forma altamente complexa com os outros compostos da parede celular, impedindo o ataque microbiano às porções digestíveis, como a hemicelulose. Com isso, observa-se menores consumos de matéria seca se não houver métodos de manejo que possam alterar o tempo de retenção dessa forragem no rúmen do animal (MACEDO et al., 2011).

Apesar de apresentar limitações nutricionais, o uso da cana-de-açúcar ainda encontra-se como uma opção competitiva comparada a outras fontes de volumosos, devido às características de alta produção de massa e facilidade de plantio. Siqueira et al. (2008) fizeram avaliações do lucro por animal e por área obtidos com diferentes produtividades de cana-de-açúcar e milho, ambos ensilados. Foram utilizados resultados de desempenho publicados por Roman et al. (2011), que avaliaram 300 bovinos recebendo dietas contendo essas forrageiras. Concluíram que o lucro por animal é igualado em produções de 12,5 t de MS/ha de milho e 25 t MS/ha de cana-de-açúcar. Já o lucro por hectare torna-se equivalente em produções de 15 e 25 t MS/ha de milho e cana-de-açúcar, respectivamente. Desta forma, demonstrou-se que a objetividade do sistema de produção em priorizar lucro, por animal ou por área, juntamente com as condições edafoclimáticas que baseiam os limites de produtividade, devem ser os principais definidores da escolha do volumoso. Quando há correção dessas limitações ou a inclusão na dieta com outra ótica (fonte de fibra em dietas de confinamento), o uso é também recomendado (NUSSIO et al., 2003; SIQUEIRA et al., 2008).

A forma mais tradicionalmente utilizada para o fornecimento da cana-de-açúcar aos animais é a *in natura*. Esse manejo envolve cortes diários, com uso intenso de mão-de-obra, demandando constante logística operacional. Como forma de contornar esses problemas, além da redução do risco de incêndios acidentais e

permitindo a rebrota uniforme do talhão, a prática da ensilagem pode ser uma técnica de manejo satisfatória dentro do sistema de produção (SIQUEIRA et al., 2012).

Estudos do uso dessa forrageira para a alimentação animal foram publicados, pioneiramente, no ano de 1940 por Athanassof, citado por Valadares Filho et al. (2008), que utilizou a associação da cana-de-açúcar *in natura* com mandioca e encontrou melhores resultados na produção de leite. Já as pesquisas com silagem de cana-de-açúcar em dietas de ruminantes foram realizadas primeiramente nos países da América Central, na década de 70 (SILVESTRE et al., 1976; PRESTON, 1977), quando o uso da cana-de-açúcar diminuiu o consumo total da dieta. Devido as suas limitações químicas, esses autores começaram a pesquisar o uso de novas técnicas que pudessem melhorar o consumo e o desempenho dos animais.

A silagem de cana-de-açúcar vem sendo pesquisada há alguns anos. Essa forrageira possui características adequadas à ensilagem como teor de matéria seca em torno de 25 a 35% (BERNANDES et al., 2007), concentração de carboidratos solúveis em cerca de 23% (PEDROSO et al., 2005) e baixa capacidade tampão de 7 e.mg de HCl/100 g de MS (SIQUEIRA et al., 2007). No período de colheita para a ensilagem, os açúcares solúveis necessários à fermentação estão mais concentrados no conteúdo celular, diminuindo proporcionalmente a quantidade de parede celular e fibra de baixa qualidade.

Observando a cana-de-açúcar apenas por essas características, avalia-se essa cultura como altamente adequada para a ensilagem quando comparada a outras, como o milho, sorgo e capins. Esses atributos, associados ao manejo físico da planta, como o tamanho de partícula adequado e o eficiente fechamento do silo, promoveriam alta e rápida proliferação dos microrganismos anaeróbios, com o abaixamento do pH e inibição do crescimento de microrganismos indesejáveis, mantendo a fermentação homolática como a principal rota de produção de ácidos orgânicos (REIS et al., 2011). Sabe-se que o pH da silagem de cana-de-açúcar atinge valores menores do que 4 com apenas 3 dias de fermentação (SIQUEIRA et al., 2011), sendo essa características altamente desejável para a conservação da forragem.

Outro fator intrínseco a essa planta e que causa modificações na silagem final é a presença de uma microflora epifítica rica em leveduras, que sintetiza etanol a partir da glicose, em baixas concentrações ou ausência de oxigênio, e em ambientes com o pH muito ácido ($\text{pH} < 4$), o que resulta em altas perdas de matéria seca que podem chegar a 48,9% (McDONALD et al., 1991). Segundo Rooke e Hatfield (2003), a rota metabólica predominante das leveduras é a piruvato descarboxilase acetaldeído, com a redução do acetaldeído a etanol. Além da produção de etanol, a fermentação por leveduras gera água, ATP e CO_2 , que é significativa no processo, levando às perdas de matéria seca. Na ensilagem da cana-de-açúcar, perdas por gases, principalmente CO_2 , têm muita importância, pois são altamente correlacionadas ao teor de etanol (90,3%) e à recuperação de MS (89,3%) (PEDROSO et al., 2005). Com isso, formas de controle do processo de perdas de MS fazem-se necessárias para garantir a qualidade final da silagem e a manutenção de massa de forragem inicialmente ensilada.

Relevantes pesquisas de controle das perdas na silagem de cana-de-açúcar foram realizadas com o uso prioritário de aditivos químicos e inoculantes microbianos para a modulação da fermentação dentro do silo, com o objetivo de preservar as principais características para o fornecimento aos animais (SCHMIDT, 2009). Técnicas de manejo, como a diferenciação no tamanho de partícula na ensilagem ainda são negligenciados, sendo que este pode influenciar tanto o processo de fermentação, como no controle de perdas de MS, ou mesmo quanto as características nutricionais de consumo e desempenho.

2.2. Efeito do tamanho de partícula na ensilagem da cana-de-açúcar

O tamanho de partícula é um fator de manejo ainda pouco explorado para a ensilagem da cana-de-açúcar. Essa técnica pode favorecer a qualidade final da silagem, com diminuição das perdas de MS, e conseqüente efeito na nutrição animal, devido à modificação na taxa de passagem pelo trato gastrointestinal.

A diferenciação do tamanho de partícula no momento da colheita possui um grande efeito econômico, pois a busca por rapidez no processo de corte e fechamento do silo é facilitado quando a ensiladora é regulada para um maior

tamanho de picagem do material (NEUMANN et al., 2007). No entanto, há um aumento observado na quantidade de carretas transportadoras de material do campo até o lugar onde a silagem está sendo elaborada, devido a menor acomodação da forragem, o que pode elevar o custo com transporte. Quando há diminuição do tamanho de partícula, menor número de carretas seria utilizado no transporte, mas há aumento no consumo de energia do maquinário de corte, chegando a valores de até 65% (SUOKANNAS & NYSAND, 2008). Tamanhos menores podem facilitar a preparação da dieta total, diminuindo a força utilizada e o tempo de mistura nos vagões forrageiros (RINNE & SEPPALA, 2009).

Outra característica que pode ser influenciada pelo tamanho de partícula é a perda de MS durante a fermentação dentro do silo, dividida em perdas por formação de efluente e de gás. Menores tamanhos de partícula levam ao aumento da massa específica dentro do silo, diminuindo as perdas por respiração de microrganismos, mas podendo elevar as perdas por formação de efluentes devido ao excesso de compactação, extravasamento e cisalhamento da célula vegetal (IGARASI, 2002). O efluente representa a porção líquida da forragem drenada após a ensilagem, sendo responsável por perdas de 5 a 10% de matéria seca (WOOLFORD, 1984). Esta fração da silagem contém compostos de alta digestibilidade, como carboidratos solúveis, ácidos orgânicos, minerais e compostos nitrogenados. Quando há produção de grandes volumes de efluentes, a tendência é aumentar proporcionalmente a concentração dos componentes da parede celular menos desejáveis nas silagens, como a lignina (McDONALD et al., 1991).

O volume de efluente produzido em um silo é influenciado, principalmente, pelo conteúdo de matéria seca da espécie forrageira ensilada e pelo grau de compactação (WOOLFORD, 1984). Bernardes et al. (2013) trabalharam com ensilagem do capim-marandu com adição de 10% de polpa cítrica como sequestrante de umidade, concluíram que com a elevação da MS inicial da silagem, de 24,1% na silagem controle para 30,2% na aditivada, ocorreu uma redução na produção de efluente de 109,3 para 17,5 L.t⁻¹ de silagem, respectivamente.

Vários são os modelos que tentam quantificar a produção de efluente em silagens (HAIGH, 1999), no entanto, utilizam apenas o teor de MS da forragem como fator para quantificar a produção de efluente, sem levar em consideração fatores

como: tipo e dimensionamento do silo, grau de compactação, efeito do tamanho de corte da forragem e aditivos. De acordo com essas equações, valores de MS entre 28,5 e 30,7 % seriam necessários para eliminar a produção de efluente. Como forma de controlar a produção de efluentes, sem modificar a concentração de MS inicial, o aumento no tamanho da partícula pode ser interessante, até o ponto que não influencie a fermentação principal. Crestana et al. (2000) trabalharam com silagens de capim-tanzânia com diferentes tamanhos de partículas e verificaram que, à medida que havia redução do tamanho de partícula, ocorria significativa redução na produção de gases, porém houve aumento compensatório da produção de efluentes, mantendo as perdas totais em torno de 27% da MS. Com isso, espera-se que silagens de cana-de-açúcar com menor tamanho de partícula favoreçam o controle de microrganismos aeróbios indesejáveis, mas há aumento na disponibilização dos açúcares solúveis para a fermentação de leveduras, o que leva a maior produção de etanol e CO₂.

A perda de gás carbônico ocorre naturalmente para o ambiente, e, observa-se também a volatilização do etanol quando há abertura do silo. Esse fato é observado principalmente em silos tipo superfície, onde o fechamento é menos adequado e aberturas são constantes para o fornecimento da silagem aos animais, sendo que, em vários estudos, os teores de etanol nas silagens de cana-de-açúcar são baixos (PEDROSO et al., 2006; SCHMIDT et al., 2007).

Uma das consequências das perdas de MS é a elevação proporcional dos constituintes fibrosos e consequente redução da digestibilidade da MS da silagem, quando comparada à cana-de-açúcar no momento da ensilagem. Em revisão realizada por Siqueira et al. (2014), baseada em resultados de pesquisas com silagem de cana-de-açúcar, indicou que, com o aumento de uma unidade de FDN, ocorre a diminuição de 0,83 unidades na digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS), sendo que, em geral, a FDN da silagem aumenta 16%, correspondendo a uma diminuição de 13,3% na DIVMS.

Além das fontes de perdas totais que ocorrem durante o processo de colheita e fermentação anaeróbia da silagem, ainda há outra fonte de perda na conservação da cana-de-açúcar na forma de silagem que é a estabilidade aeróbia. Define-se estabilidade aeróbia como o tempo necessário para se mensurar diferenças de

temperatura da massa ensilada quando for exposta ao oxigênio atmosférico, sendo considerada quebra dessa estabilidade quando esta exceder em 1 (DRIHEUIS et al., 2001) a 2 °C (KUNG JR et al., 2003) à temperatura ambiente. Esse fato ocorre no momento de descarregamento da silagem para fornecimento aos animais. A deterioração aeróbia pode causar aumento nas perdas de MS e redução no desempenho animal (KUNG JR et al., 2003).

Os fatores de risco observados em silagens de baixa estabilidade aeróbia são a contaminação da forragem com microrganismos aeróbios e, principalmente, a infiltração de ar na massa ensilada, sendo a porosidade do material compactado o principal contribuinte para esse fluxo (HOLMES & BOLSEN, 2009). A presença de oxigênio permite o crescimento de microrganismos aeróbios que causam a deterioração da silagem, a elevação do pH ao oxidarem os ácidos orgânicos, principalmente o ácido lático, auxiliando na proliferação de outros microrganismos patogênicos e diminuindo o valor nutritivo da silagem (MARI, 2008). A porosidade aumenta tanto com a presença do material ensilado com elevados teores de MS, quanto com baixas densidades da massa ensilada observada. A diminuição do tamanho de partícula na ensilagem leva ao aumento na compactação e densidade de massa ensilada e proporciona melhor estabilidade aeróbia durante a utilização da silagem, evitando a plena aeração do material ensilado. Por outro lado, tamanhos menores tendem a controlar a fermentação no silo, levando a um aumento na concentração de carboidratos residuais, que são fonte de substratos, além de alguns ácidos orgânicos, e podem acelerar o crescimento de microrganismos aeróbios nessa etapa (LOURES et al., 2003).

Quando há grandes perdas de MS no processo de ensilagem e pós-abertura do silo, a principal característica que fica evidente é a concentração da fração fibrosa e de compostos de baixo valor nutritivo, limitando a inclusão em dietas de ruminantes. A busca por alternativas que auxiliem nesse contexto deve ser reforçada. O tamanho de partícula pode interferir nas taxas de passagem do alimento no rúmen. Partículas pequenas podem acelerar a passagem e até aumentar o consumo, mas diminuiriam o tempo despendido com a mastigação/ruminação, reduzindo o pH ruminal e efetividade da dieta (MERTENS, 2002). Com isso, o aumento no tamanho de partícula do volumoso, quando esse é

utilizado como fonte de fibra dietética, pode ser uma técnica interessante quando se objetiva manter os animais com boas taxa de desempenho.

2.3. Conceito de fibra efetiva e o efeito na nutrição animal

Quando dietas são formuladas com elevada concentração de carboidratos altamente fermentescíveis, um dos maiores distúrbios nutricionais que pode ser observado está relaciona aos parâmetros ruminais. Em texto apresentado por Owens et al. (1998), foi realizada uma completa revisão sobre os distúrbios ruminais, principalmente a acidose, tanto clínica quanto subclínica. A sua importância na produção de ruminantes está relacionada diretamente com o pH do rúmen, onde valores abaixo de 5,2, que caracteriza acidose aguda, ocasionaria sintomas visíveis de, por exemplo, consumo variável de MS, diarreia e letargia. Valores de pH ruminais por volta de 5,6 são mais comumente encontrados, e caracterizam um quadro de acidose subclínica. Neste caso, não são observados sinais do animal estar doente, mas há depressão do consumo dos alimentos e do desempenho produtivo.

Como forma de controle da acidose, algumas fontes de fibra podem ser incluídas. A adição de FDN proveniente de forragem tem como consequência a elevação o pH devido a produção de saliva (tamponante) durante a ruminação, além de estimular do consumo de MS, devido à diluição da concentração energética da dieta por quilograma consumido. Por outro lado, o efeito de repleção ruminal com o aumento da fibra de menor digestibilidade que controlaria o consumo, torna esse processo desvantajoso (GALYEAN & DEFOOR, 2003).

A atividade de mastigação e ruminação não é afetada apenas pelo teor de FDN da dieta, mas pelas características da fibra, como o tipo de alimento do qual é proveniente, e principalmente, pelo tamanho de partícula que está sendo fornecida (ALLEN, 1997). Com isso, avalia-se que, além do fornecimento de uma quantidade mínima de FDN, essa deve ser fisicamente efetiva.

O conceito de fibra fisicamente efetiva (FDNfe) (MERTENS, 1994; 1997) é definido como a propriedade física da fibra de um determinado alimento em estimular a atividade de mastigação e estabelecer a estratificação bifásica do

conteúdo ruminal, dividido em partículas longas flutuante do conteúdo (mat ruminal) e as partículas pequenas, relacionando alguns fatores como a concentração de fibra, o tamanho de partícula e as propriedades ruminais de redução do tamanho de partícula. Alimentos fonte de fibra, apesar de possuírem menor valor energético devido à lenta e incompleta digestão quando comparadas a alimentos ricos em carboidratos fermentescíveis, deve estar presente em quantidade que promova de forma eficiente a ruminação e a motilidade ruminal nos animais, pois durante esses processos há produção de tampões salivares que auxiliam na manutenção do pH do rúmen (MERTENS, 2002), mas não interferindo de forma comprometedora o consumo de MS.

Uma das formas utilizadas para a estimativa da FDN_{fe} é o cálculo pelo teor de FDN analisado quimicamente e multiplicado pelo fator de efetividade física (pef) da fibra, segundo a fórmula $FDN_{fe} = FDN * pef$. Apesar do conceito estabelecido, as medidas de pef são definidas de diferentes formas, que, segundo Armentano e Pereira (1997), pode ser utilizado tanto o tempo despendido com a mastigação/ruminação, camada de fibra longa do rúmen (mat ruminal), motilidade ruminal, teor de gordura do leite, pH ruminal e perfil de ácidos graxos de cadeia curta (AGCC) no rúmen, quanto o uso de um jogo de peneiras, denominado *Penn State Particle Size Separator (PSPSS)* desenvolvido pela Universidade da Pensilvânia, EUA (KONONOFF et al., 2003). A FDN_{fe} é mensurada pela concentração de FDN contida nas partículas retidas nas peneiras com perfuração maior do que 1,18 mm, indicando a íntima relação entre tamanho de partícula e efetividade da fibra (MERTENS, 1997).

Apesar de ser uma forma empírica e altamente utilizada para a mensuração da FDN_{fe}, sabe-se que a efetividade da fibra relaciona-se principalmente com respostas observadas nos animais, como a atividade de mastigação/ruminação, ou, o tempo despendido nessa atividade. Isso resulta em aparentes mudanças no comportamento ingestivo, que terá como consequência a elevação da produção de saliva e manutenção do pH ruminal, além de alterar o consumo de matéria seca (COLENBRANDER et al., 1991).

Durante a mastigação, as partículas do alimento são reduzidas de tamanho e lubrificadas pela saliva, preparando o bolo para a deglutição (BEAUCHEMIN et al.,

2008). Durante a ruminação, a produção de saliva é estimulada e as partículas também tendem a diminuir de tamanho, aumentando a gravidade específica. Essa característica facilita a passagem do alimento do rúmen para os outros órgãos do sistema digestivo (KENNEDY, 2005), pois quando a saciedade física ocorre no rúmen, a taxa de passagem da digesta determina o consumo de alimento. A taxa na qual o alimento é reduzido a partículas suficientemente pequenas para atravessar o orifício retículo-omasal e a taxa de degradação pelos microrganismos são os fatores mais importantes que limitam o desaparecimento de digesta do rúmen (BOSCH et al., 1992).

Tamanho de partícula reduzido da forragem pode diminuir o tempo de ruminação devido à elevada taxa de passagem, causando decréscimo do volume de saliva produzida para tamponar o rúmen e, conseqüentemente, queda de pH (WOOLFORD, 1984; KONONOFF, 2003). Segundo Mertens (1997), forragens com tamanhos de partículas menores do que 0,4 cm reduzem em até 80% a atividade de mastigação quando comparada a forragem original. Resultado de uma meta-análise realizada por Tafaj et al. (2007) indicou que o consumo de MS de vacas em início de lactação aumentou a produção de leite em 80 g/dia quando o tamanho de partícula diminuiu em 1 mm. Yang & Beauchemin (2006) concluíram que o tempo de ruminação e o tempo total de mastigação aumentaram linearmente com o incremento da FDNfe em dietas para vacas leiteiras alimentadas com silagem de cevada com partículas de 9,5 mm, 4,8 mm ou metade das partículas com 9,5 mm e metade das partículas com 4,8 mm. Com isso, o tamanho de partícula teoricamente ideal deve considerar o consumo e a mastigação de forma combinada e complementar.

Tamanhos longos de partícula podem interferir no consumo e no comportamento ingestivo dos animais. Partículas longas se mantêm mais tempo dentro do rúmen para a ação de degradação (LEONARDI e ARMENTANO, 2003), tanto física quanto microbiana, diminuindo o tempo de consumo, o que pode levar a menores taxas de ganho de peso, mas auxilia no processo de manutenção das condições ruminiais do animal. Em meta-análise realizada por Tafaj et al. (2007) para vacas de leite em início de lactação, os resultados indicaram que o tamanho de partícula do volumoso aumenta linearmente o tempo de mastigação (11,7 min) e

ruminação (7,6 min) por 1 mm de aumento no tamanho de partícula de silagens de capim. Esse resultado não foi significativo para silagem de milho, indicando que a concentração e a característica da fibra pode influenciar o comportamento animal. Apesar de não haver na literatura publicações referentes ao comportamento ingestivo e uso de silagem de cana-de-açúcar como fonte de fibra em dietas com elevada proporção de concentrado, acredita-se que, pelas características de baixa digestibilidade que essa forragem apresenta, intensificada com o processo da ensilagem e perdas inerentes, haverá mudanças nesse comportamento, interferindo no desempenho animal.

Recomendações na concentração de FDNfe na dieta ainda estão sendo estudadas e modificadas, dependendo do nível de produção, tipo de dieta e categoria animal. Conforme publicado pelo NRC (2001) para gado de leite, há uma recomendação mínima de FDN advinda de forragem (fisicamente efetiva) para estimular a mastigação do valor de 19-21%, mas não há indicativas do comprimento da partícula, indicando que esta pode ser extremamente variável.

Para a estimativa do valor de FDNfe para animais de corte em confinamento, Mertens (2002) realizou uma análise comparativa com 27 trabalhos, nos quais foram calculadas essas concentrações de fibra, sendo que os dados de ganho de peso foram ajustados estatisticamente entre as citações. Avaliando esses resultados, o autor encontrou uma relação quadrática entre as variáveis ganho de peso e FDNfe (%MS), recomendando que, para maximização da produção de carne, a concentração de 15,3% de FDNfe é a mais eficiente, observando pouca diferença entre 12-18%, sendo que o valor para a minimização de abcesso de fígado seria de 22% e, para maximizar o consumo, 25% de FDNfe na dieta. Santos et al. (2013), avaliando dados de experimentos brasileiros de níveis de volumoso em dietas ricas em grãos de cereais, estimaram valores de 13,4 e 12,11% de FDN de forragem para a maximização do consumo de MS (% PC) e ganho de peso diário (kg), respectivamente.

Trabalho pioneiro com cana-de-açúcar e tamanho de partícula foi realizado por Montpellier e Preston (1977) avaliando o grau de moagem em dietas para bovinos de corte e não encontraram diferenças entre os tratamentos para o consumo e digestibilidade da MS. Santos (2010) também avaliou diferentes

tamanhos de partículas de cana-de-açúcar *in natura* para vacas em lactação e concluiu que os menores tamanhos de partícula influenciaram no consumo de forma a aumentar a ingestão total da dieta.

Apesar dos níveis de inclusão de FNDfe na dieta serem definidos com ideais para a manutenção do desempenho animal e dos parâmetros ruminais, sabe-se que os animais têm características de seletividade da dieta, sendo que o alimento consumido é diferente daquele fornecido e devidamente formulado para o suprimento das exigências em fibra efetiva, ainda pouca conhecido.

Pesquisas vêm sendo realizadas com o intuito de comprovar o conceito teórico de que os animais têm preferências por escolhas de alimentos fornecidos que supram as suas exigências metabólicas e fisiológicas (LEONARDI e ARMENTANO, 2003). Primeiramente, acreditava-se que as escolhas eram realizadas apenas com base nas exigências nutricionais, mas constatou-se que o animal alimenta-se de forma seletiva com o objetivo de terem distúrbios mínimos no que se refere ao processo digestivo (FORBES, 2001).

Segundo Leonardi e Armentano (2003), dietas fornecidas com tamanhos de partículas muito pequenos levam a menor seletividade e com a redução de consumo de partículas longas, diminuição da mastigação e ruminação, afetando diretamente o pH ruminal é afetado devido ao menor tempo de mastigação. Em experimento realizado com vacas leiteiras por esses mesmos autores para avaliar o índice de seleção quando testado o feno de alfafa em diferentes concentrações (40% de feno de alfafa na dieta total ou 20% de feno de alfafa e 20% de silagem de alfafa), qualidade do volumoso e tamanho de partículas, concluiu-se que os animais aumentaram a seleção, recusando partículas longas quando as rações apresentavam maior quantidade de feno. A qualidade do feno não afetou a variável estudada, mas o tamanho de partícula influenciou na seletividade, onde as vacas consumiram maiores quantidades de partículas finas em detrimento às longas.

Observou-se que os animais selecionam frações da dieta total, buscando a redução do consumo das partículas longas, mas, na maioria dos casos, essas partículas contém a maior concentração de FDN da dieta total e reduziria o consumo de fibra comparada à dieta fornecida em dietas consideradas tradicionais, ou com elevada porcentagem de volumoso (LEONARDI e ARMENTANO, 2003). Santos

(2010) realizou um trabalho que avaliou três tamanhos médios de partículas e concluiu que há um confundimento entre as respostas obtidas pelos diferentes tamanhos de partícula e a alteração na relação volumoso:concentrado das dietas consumidas, devido ao maior índice de seleção nas dietas com os maiores tamanhos de partículas. A variação no consumo dos animais por escolha das diferentes frações da dieta pode ser uma ferramenta importante de estudo, pois proporciona explicações da resposta animal diferente daquelas normalmente esperadas, sendo que o tamanho de partícula é o primeiro fator que afeta o índice de seleção de uma dieta completa.

3. Referências

AGUIAR, I.D. **Preço da energia sobe e movimentado mercado de cogeração**. Abril, 2014. Disponível em: <http://www.novacana.com/n/cogeracao/mercado/preco-energia-sobe-mercado-cogeracao-280414/>. Acesso em: 15 ago. 2014.

ALLEN, M.S. Relationship between fermentation acid and production in the rumen and the requirement for physically effective fiber. **Journal of Dairy Science**, v.80, p.1447-1462, 1997.

ARMENTANO, L.; PEREIRA, M.N. Measuring the effectiveness of fiber by animal response trial. **Journal of Dairy Science**, v.80, p.1416-1425, 1997.

BEAUCHEMIN, K.A.; ERIKSEN, L.; NORGAARD, P.; RODE, L.M. Short Communication: Salivary Secretion During Meals in Lactating Dairy Cattle. **Journal of Dairy Science**, v.81, p.2077-2081, 2008.

BERNARDES, T.F.; REIS, R.A.; SIQUEIRA, G.R. BERCHIELLI, T.T.; COAN, R.M. 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.; REIS, R.A.; SIQUEIRA, G.R.; DOMINGUES, F.N.; RÊGO, A.C. Produção de efluente de silagens de capim-Marandu contendo polpa cítrica peletizada. **Revista de Ciências Agrárias**, v.56, n.4, p.326-330, 2013.

BOSCH, M.W.; LAMMERS-WIENHOVENA, S.C.W.; BANGMAA, G.A.; BOERB, H.; VAN ADRICHEMA, P.W.M. Influence of stage of maturity of grass silages on digestion processes in dairy cows. 2. Rumen contents, passage rates, distribution of rumen and faecal particles and mastication activity. **Livestock Production Science**, v.32, p. 265-281, 1992.

BONOMO, P.; CARDODO, C.M.M.; PEDREIRA, M.S.; SANTOS, C.C.; PIRES, A.J.V.; SILVA, F.F. Potencial forrageiro de variedades de cana-de-açúcar para a alimentação de ruminantes. **Acta Scientiarum, Animal Sciences**, v.31, n.1, p.53-59, 2009.

COLENBRANDER, V.F.; NOLLER, C.H.; GRANT, R.J. Effect of fiber content and particle size of alfalfa silage on performance and chewing behavior. **Journal of Dairy Science**, v.74, n.8, p.2681-2690. 1991.

CRESTANA, R.F.; AGUIAR, R.N.S.; NUSSIO, L.G. Avaliação das perdas de silagem de capim Tanzânia (*Panicum maximum* Jacq. cv. Tanzânia) pré-secado ou com adição de polpa cítrica em três tamanhos de partícula. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 8., 2000, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: USP, 2000. (CD-ROM).

DRIEHUIS, F.; OUDE ELFERINK, S.J.W.H.; Van WIKSELAAR, P.G. Fermentation characteristics and aerobic stability of grass silage inoculated with *Lactobacillus buchneri*, with or without homofermentative lactic bacteria. **Grass and Forage Science**, v.56, p.330-343, 2001.

FERNANDES, A.M.; QUEIROZ, A.C.; PEREIRA, J.C.; LANA, R.P.; BARBOSA, M.H.P.; FONSECA, D.M.; DETMANN, E.; CABRAL, L.S.; PEREIRA, E.S.; VITTORI, A. Composição químico-bromatológica de variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.L.*) com diferentes ciclos de produção (precoce e intermediário) em três idades de colheita. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.32, n.4, p.977-985, 2003.

FORBES, J.M. Consequences of feeding for future feeding. **Comparative biochemistry and physiology part A**, v.128, p.463-470, 2001.

GALYEN, M.L.; DEFOOR, P.J. Effects of roughage source and level on intake by feedlot cattle. **Journal of Animal Science**, v.81, p.8-16, 2003.

GUIMARÃES, A.; MONTANARI, I.P.B.; FARIA, S. Usinas autossustentáveis: combustíveis e energia a partir da cana-de-açúcar. **Bolsista de valor - Revista de divulgação do projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense**, v.2, n.1, p. 311-315, 2012.

HAIGH, P.M. Effluent production from grass silages treated with additives and made in large-scale bunker silos. **Grass and Forage Science**, v.54, p.280-218, 1999.

HOLMES, B.J.; BOLSEN, K.K. What's new in silage management? In: XV International Silage Conference. **Proceedings...** Madison. p.61-76. 2009.

IGARASI, M.S. **Controle de perdas na ensilagem de capim Tanzânia (*Panicum Maximum* Jacq. cv Tanzânia) sob os efeitos do teor de matéria seca, do tamanho de partícula, da estação do ano e da presença do inoculante**

bacteriano. Piracicaba, 2002. 132p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. 2002.

KONONOFF, P. J.; HEINRICHS, A. J.; LEHMAN, H. A.. The effect of corn silage particle size on eating behavior, chewing activities, and rumen fermentation in lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.86, p.3343–3353, 2003.

KENNEDY, P.M. Particle dynamics. In: DIJKSTRA, J.; FORBES, J.M.; FRANCE, J. **Quantitative aspects of ruminants digestion and metabolism**. Wallingford: CABI Publishing, 2005. p.123-156.

KUNG JR, L.; TAYLOR, C.C.; LYNCH, M.P.; NEYLON, J.M. The effect of treating alfafa with *Lactobacillus buchneri* 40788 on silage fermentation, aerobic stability, and nutritive value of lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.86, p.336-343, 2003.

LEONARDI, C.; ARMENTANO, L. E. Effect of quantity, quality, and length of alfalfa hay on selective consumption by dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.86, n.02, p.557-564, 2003.

LONG, S.P. Environmental response. In: SAGE, R.F.; MONSON. **C4 plant biology**. New Yourk: Academic Press. 1999. p. 215-249.

LOURES, D.R.S.; GARCIA, R.; PEREIRA, O.G.; CECON, P.R.; SOUZA, A.L. Características do efluente e composição químico-bromatológica da silagem de capim-elefante sob diferentes níveis de compactação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.32, n.6, p.1851-1858, 2003 (supl.2).

MACEDO, T.M.; PIRES, A.J.V.; CARVALHO, G.G.P.; LOPES, W.B.; OLIVEIRA, C.S.; CHAGAS, D.M.T. Degradabilidade da matéria seca e a fração fibrosa da cana de açúcar tratada com óxido de cálcio. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v.12, n.2, p.429-440, 2011.

MARI, L. **Desempenho de bovinos de corte alimentados com rações contendo cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) fresca ou ensilada e o padrão de fermentação e a estabilidade aeróbica das silagens aditivadas**. 2008. 315p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2008.

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

MERTENS, D.R. Regulation of forage intake. In: FAHEY JR., G.C., COLLINS, M., MERTENS, D.R., MOSER, L.E. (Eds). **Forage quality, evaluation na utilization**. Madison, Wisconsin: ASA-CSSA-SSSA, 1994. p. 450-493.

MERTENS, D.R. Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.80, p. 1463-1481, 1997.

MERTENS, D. Measuring fiber and its effectiveness in ruminants diets. *CNCPS V.5.0.34*. Model development papers, 2002.

MONTPELLIER, F.A.; PRESTON, T.R. Digestibility of tops, rind, derinded stalk and entire plant of sugar cane. **Tropical Animal Production**, v.2, n.1, p.13-17, 1977.

MOSER, L.E.; BURSON, B.L. SOLLENBERGER, L.E. Warm-season (C4) grasses overview. In: MOSER, L.E.; BURSON, B.L.; SOLLENBERGER, L.E. **Warm-season (C4) grasses**. Madison: Agronomy Monographs, 2004, p.1-14.

MUCK, R.E.; MOSER, L.E.; PITT, R.E. Postharvest factors affecting ensiling. In: BUXTON, D.R.; MUCK, R.E.; HARRISON, J.H. (Eds). **Silage science and technology**. Madison: American Society of Agronomy, 2003. p.251-304.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC). **Nutrient requirements of dairy science**. Washington, DC: National Academy Press, 7.ed., 2001. 381p.

NEUMANN, M.; MUHLBACH, P.R.F.; NORBERG, P. et al. Efeito do tamanho de partícula e da altura de corte de plantas de milho na dinâmica do processo fermentativo da silagem e no período de desensilagem. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.36, n.5, p.1603-1613, 2007 (supl.).

NUSSIO, L.G.; ROMANELLI, T.L; ZOPOLLATTO, M. Tomada de decisão na escolha de volumosos suplementares para bovinos de corte em confinamento. In: CBNA (Ed.). **V Simpósio Goiano sobre manejo e nutrição de bovinos de corte e leite**. Campinas: CBNA. p.1-14. 2003.

OLIVEIRA, C.A.; MILLEN, D.D. Levantamento sobre as recomendações nutricionais e práticas de manejo adotadas por nutricionistas de bovinos confinados no Brasil. In: **III Simpósio Internacional de Nutrição de Ruminantes**. Botucatu-SP, 2011.

OLIVEIRA, M.D.S.; RÊGO, A.C.; SFORCINI, M.P.R.; FREITAS JÚNIOR, J.E.; SANTOS, J.; CARVALHO, M.V. Bromatological characteristics and in vitro digestibility of four sugarcane varieties subjected or not to the application of quicklime. **Acta Scientiarum**, v.34, n.4, p.355-361, 2012.

OWENS, F.N.; SECRIST, D.S.; HILL, W.J.; GILL, D.R. Acidosis in cattle: a review. **Journal of Animal Science**, v.76, p.275-286, 1998.

PAULINO, P.V.R.; FERREIRA, J.D.; SILVA, L.; CASTRO, H. Confinamento nas águas: dificuldades, oportunidades e soluções. In: COAN, R.M.; COAN, R.M. **8º Encontro de Confinamento: gestão técnica e econômica**. Jaboticabal : FUNEP, 2013. p.23-42.

PEDROSO, A.F.; NUSSIO, L.G.; PAZIANI, S.F. et al. Fermentation and epiphytic microflora dynamics in sugar cane silage. **Scientia Agricola**, v.62, n.5, p.427-432, 2005.

PEDROSO, A.F.; NUSSIO, L.G.; BARIONI JÚNIOR, W.; RODRIGUES, A.A.; LOURES, D.R.S.; CAMPOS, F.; RIBEIRO, J.L.; MARI, L.; ZOPOLLATTO, M.; JUNQUEIRA, M.; SCHMIDT, P.; PAZIANI, S.F.; HORII, J. Performance of Holstein heifers fed sugarcane silages treated with urea, sodium benzoate or *Lactobacillus buchneri*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.4, p.649-654, 2006.

PRESTON, T.R. Nutritive value of sugar cane for ruminants. **Tropical Animal Production**, v.2, n.2, p.125, 1977.

REIS, R.A.; SIQUEIRA, G.R.; ROTH, A.P.T.P. Agricultural management of sugarcane fields for silage production. In: DANIEL, J.L.P.; ZOPOLLATTO, M.; NUSSIO, L.G. II International Symposium on Forage Quality and Conservation. **Proceedings...** São Pedro : FEALQ. 2011. p.45-64.

RINNE, M.; SEPPALA, A. Particle size effects of forages on the ensiling process and animal performance. In: DANIEL, J.L.P.; ZOPOLLATTO, M.; NUSSIO, L.G. II International Symposium on Forage Quality and Conservation. **Proceedings...** São Pedro : FEALQ. 2011. p.233-256.

ROMAN, J.; JOBIM, C.C.; RESENDE, F.D.; SIQUEIRA, G.R.; FARIA, M.H.; OLIVEIRA NETO, R.A. Performance of finishing beef cattle fed different diets containing whole-crop maize silage or sugarcane silage. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.40 n.3. p.682-689. 2011.

ROOKE, J.A.; HATFIELD, R.D. Biochemistry of ensiling. In: BUXTON, D.R.; MUCK, R.E.; HARRISON, J.H. (Eds.) **Silage science and technology**. Madison: American Society of Agronomy; Crop Science Society of America; Soil Science Society of America, 2003. p.251-304.

SANTOS, V.P. **Tamanho de partículas da cana-de-açúcar in natura na alimentação de vacas e cabras em lactação**. 121f. Tese (Doutorado em Ciência Animal e Pastagens) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura, Piracicaba. 2010.

SANTOS, F.A.P.; SOUZA, J.; BATISTEL, F.; COSTA, D.F.A. Modalidades de confinamento sem o uso de volumosos: realidade e limitações. In: COAN, R.M.; COAN, R.M. 8º Encontro de Confinamento: gestão técnica e econômica. **Anais...** Jaboticabal : FUNEP, 2013. p.261-291.

SCHMIDT, P.; MARI, L.J.; NUSSIO, L.G.; SANTOS, V.P.; PIRES, A.V. Aditivos químicos e biológicos na ensilagem de cana-de-açúcar. 1. Composição química das silagens, ingestão, digestibilidade e comportamento ingestivo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.36, n.5, p.1666-1675, 2007.

SCHMIDT, P. Aditivos químicos e biológicos no tratamento de cana-de-açúcar para alimentação de bovinos. In: JOBIM, C.C.; CECATO, U.; CANTO, M.W. (Eds)

Produção e utilização de forragens conservadas. **Anais...** Maringá: Masson, 2008. p.117-152.

SCHMIDT, P. Improved efficiency of sugarcane ensiling for ruminant supplementation. In: NUSSIO, L.G. I International Symposium on Forage Quality and Conservation. **Proceedings...** São Pedro : FEALQ. 2009.

SILVESTRE, R.; McLEOD, N.A.; PRESTON, T.R. The performance of steers fed fresh chopped whole sugar cane or after ensiling with urea or ammonia. **Tropical Animal Production**, v.3, p.69-75, 1976.

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

SIQUEIRA, G.R.; RESENDE, F.D.; ROMAN, J. REIS, R.A.; BERNARDES, T.F. Uso estratégico de forragens conservadas em sistemas de produção de carne. In: JOBIM, C.C.; CECATO, U.; CANTO, M.W. (Eds) Produção e utilização de forragens conservadas. **Anais...** Maringá: Masson, 2008. p.41-89.

SIQUEIRA, G.R.; REIS, R.A.; SCHOCKEN-ITURRINO, R.P.; ROTH, A.P.T.P.; ROTH, M.T.P.; RESENDE, F.D. Perfil fermentativo de silagens de cana-de-açúcar in natura ou queimada etratadas ou não com *Lactobacillus buchneri*. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.40, n.8, p.1651-1661, 2011.

SIQUEIRA, G.R.; ROTH, M.T.P.; MORETTI, M.H.; BENATTI, J.M.B.; RESENDE, F.D. Uso da cana-de-açúcar na alimentação de ruminantes. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v.13, n.4, p.991-1008, 2012.

SIQUEIRA, G.R.; SILVA, N.C.; CAMPOS, A.F.; RESENDE, F.D. Avanços tecnológicos na produção e utilização de silagem de cana-de-açúcar. In: JOBIM, C.C.; CECATO, U.; CANTO, M.W.; BANKTI, F.I. V Simpósio: Produção e utilização de forragens conservadas. **Anais...** 1ed. Maringá: Sthampa, p.117-156, 2014.

SUOKANNAS, A.; NYSAND, M. Loader wagon compared to metered chopper for forage harvest. In: HOPKINS, A. 22nd General Meeting of European Grassland Federation. **Proceedings...** Uppsala: Grassland Science in Europe. 2008. p.648-650,

TAF AJ, M.; ZEBELI, Q.; BAES, CH.; STEINGASS, H.; DROCHNER, W. A meta-analysis examining effects of particle size of total mixed rations on intake, rumen digestion and milk production in high-yielding dairy cows in early lactation. **Animal Feed Science and Technology**, v.138, p137-16, 2007.

VALADARES FILHO, S.C.; MARCONDES, M.I.; CHIZZOTTI., M.L et al. Otimização de dietas à base de cana-de-açúcar. In: SIMPÓSIO DE PRODUÇÃO DE GADO DE CORTE, 6., SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE PRODUÇÃO DE GADO DE CORTE, 2 ., 2008, VIÇOSA, MG. **Anais...** p.121-182, 2008.

WOOLFORD, M.K. **The silage fermentation**. New York: Marcel Dekker, 1984. 322p.

YANG, W.Z.; BEAUCHEMIN, K.A. Physically Effective Fiber: Method of Determination and Effects on Chewing, Ruminal Acidosis, and Digestion by Dairy Cows. **Journal of Dairy Science**, v.89, p.2618–2633, 2006.

CAPÍTULO 2 – Ensilagem da cana-de-açúcar com diferentes tamanhos de partículas: perfil fermentativo e estabilidade aeróbia

Resumo – Objetivou-se avaliar as características fermentativas, composição química, perdas de matéria seca (MS), dinâmica microbológica e a estabilidade aeróbia de silagens de cana-de-açúcar com diferentes tamanhos de partículas. Esse experimento foi realizado em dois anos consecutivos. Os tratamentos consistiram em quatro diferentes tamanhos de partículas, sendo T5: silagem de cana-de-açúcar picada a 5 mm; T10: silagem de cana-de-açúcar picada a 10 mm; T15: silagem de cana-de-açúcar picada a 15 mm e T20: silagem de cana-de-açúcar picada a 20 mm. Na avaliação do perfil fermentativo e populações microbianas, foram utilizados baldes plásticos com capacidade de 20 litros como silos experimentais, com tempos de armazenamento de 3, 7, 14, 28 e 56 dias, sendo três repetições por tratamento, totalizando 60 silos. A estabilidade aeróbia foi mensurada por até 12 dias. No ano 1, houve interação significativa entre tamanho de partícula e tempo de armazenamento para a população de leveduras e pH. Observou-se diferença significativa na perda por formação de gás ($P < 0,01$), sendo a silagem T10 aquela com maior produção, alterando a recuperação da matéria seca final ($P = 0,024$). A composição química foi alterada, com aumento da porção fibrosa e proteica para T10 e T15. A estabilidade aeróbia se ajustou ao modelo linear decrescente com o aumento do tamanho de partícula. No ano 2, observou-se elevadas perdas por produção de gás para T5, obtendo menor recuperação de matéria seca, juntamente com T20. Houve efeito quadrático significativo ($P < 0,01$) na concentração de etanol, sendo T10 o tamanho de partícula com menor concentração. A estabilidade aeróbia não foi alterada pelos diferentes tamanhos de partículas. Diferentes tamanhos de partículas influenciam no perfil fermentativo e na composição química da silagem de cana-de-açúcar, mas que esse fator não é o único definidor da qualidade final da silagem.

Palavras-chave: etanol, perda por gás, população de leveduras, recuperação de matéria seca

CHAPTER 2 - Sugarcane ensilage with different particle sizes: fermentative profile and aerobic stability

ABSTRACT – This study aimed to evaluate the fermentative characteristics, chemical composition, dry matter losses (MS), microbiological dynamics and aerobic stability of sugarcane silages with different particle sizes. This experiment was conducted for two consecutive years. The treatments were composed of four different particle sizes, being T5: sugarcane silage chopped to 5 mm; T10: sugarcane silage chopped to 10 mm; T15: sugarcane silage chopped to 15 mm and T20: sugarcane silage chopped to 20 mm. For evaluation of the fermentative profile and microbial populations were used plastic buckets with capacity of 20 liters as experimental silos, with storage times of 3, 7, 14, 28 and 56 days, with three replicates per treatment, totaling 60 silos. The aerobic stability was measured during 12 days. In the first year, there was a significant interaction between particle sizes and storage time for the population of yeast and pH. There was significant difference in gas formation loss ($P < 0.01$), and highest production was observed to T10, changing the recovery of the final dry matter ($P = 0.024$). there was significant effect to chemical composition, increasing the neutral detergent fiber and crude protein contents to T10 and T15. The aerobic stability linearly decreased with increase of particle size. In year 2, there was higher gas production loss ($P < 0.01$) for T5 and T20, getting lower dry matter recovery ($P = 0.042$). There was quadratic effect ($P < 0.01$) in the concentration of ethanol, being T10 silage with low concentration. The aerobic stability was not affected by the particle size. Different particle sizes influence the fermentation characteristics and chemical composition of sugarcane silage, but this factor is not the only defining the silage quality.

Keywords: ethanol, gas loss, yeast population, dry matter recovery

Introdução

A cana-de-açúcar constitui uma alternativa importante na alimentação de ruminantes, visto suas vantagens como elevada produção de matéria seca (MS), com valores superiores a 45 t MS/ha (MURARO et al., 2011), quando comparada a culturas mais convencionais, como milho e sorgo. Com isso, possui como principais características altas produções de energia por área (15 a 20 t NDT/ha) e preservação do valor nutritivo na época de maturação fisiológica (SCHMIDT, 2009), o que a caracteriza com alto potencial de uso na alimentação animal.

Inicialmente, a cana-de-açúcar foi utilizada na forma *in natura* e fornecida diariamente aos animais, mas a dificuldade com a logística operacional na propriedade fez com que a técnica da ensilagem tornasse uma alternativa importante (SIQUEIRA et al., 2007b). A forrageira possui características relevantes para a produção de silagem de qualidade, como teor de matéria seca, concentração de carboidratos solúveis e baixo poder tampão (PEDROSO et al., 2005; BERNARDES, et al. 2007; SIQUEIRA et al. 2007a). Apesar da boa ensilabilidade, observam-se elevadas perdas de MS durante o período de armazenamento devido a atuação de leveduras, que são os microrganismos responsáveis pela fermentação alcoólica. Nessa rota metabólica energética, há elevada produção de CO₂ e etanol que, por serem compostos altamente voláteis, são uma grande fonte de perda de carbono e, conseqüentemente, de MS (PEDROSO et al., 2005; SIQUEIRA et al., 2007a).

Os estudos sobre a cana-de-açúcar concentram-se na avaliação de aditivos químicos e biológicos e pouco se avaliou os efeitos do manejo sobre a ensilagem. O tamanho de partícula é um fator importante que auxilia na melhor acomodação da forragem, diminuindo a porosidade, devido à maior densidade da massa. Essa característica garante condições de anaerobiose mais pronunciada, influenciando diretamente no processo fermentativo (MUCK et al., 2003). Trabalho como o de Herrmann et al. (2012) concluiu que a redução do tamanho das partículas na ensilagem é mais eficaz e reduz as perdas que ocorrem durante o período de armazenamento para a silagem de milho, sorgo, gramíneas de inverno e triticale.

Diante do exposto, objetivou-se com esse estudo avaliar a influência do tamanho de partícula na ensilagem da cana-de-açúcar sobre as perdas de matéria seca, características fermentativas, composição química e estabilidade aeróbia.

Material e métodos

Os experimentos foram desenvolvidos no Pólo Regional de Desenvolvimento dos Agronegócios Alta Mogiana, na cidade de Colina – SP, localizada a latitude de 20°43'05" S, longitude 48°32'38" W, a uma altitude de 615 metros. Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo AW, considerado tropical com inverno seco e verão chuvoso.

O experimento foi realizado por dois anos consecutivos. A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) utilizada foi a variedade RB 86- 7515, em seu terceiro e quarto anos de uso, apresentando espaçamento de 1,30 metros entre linhas e com 11 a 12 meses de rebrota. A colheita mecânica no primeiro ano experimental foi realizada em novembro de 2011, quando a cana-de-açúcar apresentava 22,4° BRIX e, no segundo ano, em outubro de 2012, com valor de 21,1° BRIX.

Utilizou-se ensiladora (modelo JF Z-6, JF Máquinas Agrícolas, Itapira, SP, Brasil) para propiciar diferenciação dos tamanhos de partícula devido à combinação de pares de engrenagens. Os tratamentos consistiram em quatro tamanhos médios de partículas (TMP) no processo de ensilagem, idealizados inicialmente por previsão do maquinário como: T5: cana-de-açúcar picada a 5 mm; T10: cana-de-açúcar picada a 10 mm; T15: cana-de-açúcar picada a 15 mm e T20: cana-de-açúcar picada a 20 mm. Os reais tamanhos de partículas foram determinados pelo método de estratificação de partículas em peneiras utilizando o modelo *Penn State Particle Size Separator – PSPSS*, descrito por Kononoff et al. (2003), que distribuiu as partículas em quatro diferentes faixas de tamanho de < 1,18 mm, 1,18 a 8 mm, 8 a 19 mm e >19 mm.

Como silos experimentais foram utilizados baldes de plástico com 20 litros de capacidade. Na parte inferior de cada balde foram colocados 4 kg de areia seca, separada da forragem por tela e tecido de náilon, para quantificação do efluente produzido (Siqueira et al., 2007a). A compactação foi realizada com o auxílio de

bastões de ferro e, após o enchimento, os silos foram vedados com tampa plástica e fita adesiva, pesados e armazenados à temperatura ambiente, pelo período de 3, 7, 14, 28 e 56 dias. Avaliaram-se três repetições de cada tratamento por período de abertura, totalizando 60 silos. Após cada período de armazenamento transcorrido, foram avaliadas as população de microrganismos, como leveduras e bactérias ácido-láticas e pH das silagens.

Após 56 dias de armazenamento, os silos foram pesados novamente para a quantificação de perdas por gás. Após a retirada da silagem, o conjunto silo, areia, tela e tecido de náilon foram pesados para quantificação do efluente produzido, além da determinação da recuperação de MS, conforme metodologias descritas por Siqueira et al. (2007a).

Antes da ensilagem, a forragem foi amostrada três vezes em cada tratamento. A primeira amostragem foi pesada e levada para estufa de ventilação forçada a 55°C durante 72 horas para secagem. Essa amostra foi processada em moinho de faca tipo “Willey” com peneira de malha de 1 mm para realização das análises químicas, que foram matéria seca (MS), matéria mineral (MO), nitrogênio total (NT), extrato etéreo (EE) segundo AOAC (1990). O teor de fibra em detergente neutro (FDN) foi obtido segundo metodologia de Mertens (2002) e, sequencialmente, obteve-se a fibra em detergente ácido (FDA) segundo as técnicas descritas por Robertson e Van Soest (1981). As correções da FDN e FDA quanto aos teores de proteína e cinzas contaminantes foram conduzidas conforme descrições de Licitra et al. (1996) e Mertens (2002). A determinação da celulose foi realizada pelo método do ácido sulfúrico 72% (p/p) descrito por Van Soest e Robertson (1985) e a lignina foi determinada pela diferença entre os teores de FDA e celulose. Determinou-se a digestibilidade verdadeira *in vitro* da matéria seca (DIVMS), segundo metodologia de Robertson e Van Soest (1981). Os teores de matéria seca em estufa à 55°C, tanto da forragem fresca quanto das amostras com 56 dias de armazenamento, foram corrigidos para produtos voláteis de acordo com equação de Weissbach (2009): MS corrigida (%MV) = MS estufa (%MV) + 0,08 × ácido lático (%MV) + 0,95 × ácidos graxos de cadeia curta* (%MV) + etanol (%MV). Os ácidos graxos de cadeia curta* incluem: ácido acético + ácido propiônico + ácido butírico. (Tabela 1).

Tabela 1. Composição química, características fermentativas e microbiológicas da forragem fresca de cana-de-açúcar nos dois anos de avaliações

	Ano 1	Ano 2
<i>Composição química</i>		
MSc (g.kg ⁻¹)	384	371
MO (g.kg ⁻¹ MSc)	974	959
PB (g.kg ⁻¹ MSc)	17,4	19,4
EE (g.kg ⁻¹ MSc)	7,62	10,3
FDNcp (g.kg ⁻¹ MSc)	574	524
Hemicelulose (g.kg ⁻¹ MSc)	235	206
FDAcp (g.kg ⁻¹ MSc)	339	319
Celulose (g.kg ⁻¹ MSc)	274	263
Lignina (g.kg ⁻¹ MSc)	64,5	54,9
DIVMSc (g.kg ⁻¹ MSc)	647	711
<i>Características fermentativas e microbiológicas</i>		
pH	5,13	4,93
Etanol (g.kg ⁻¹ MSc)	0,482	0,515
Ácido lático (g.kg ⁻¹ MSc)	0,623	0,607
Ácido acético (g.kg ⁻¹ MSc)	0,735	0,740
Ácido propiônico (g.kg ⁻¹ MSc)	0,381	0,352
Ácido butírico (g.kg ⁻¹ MSc)	0,041	0,053
Leveduras (log ₁₀ UFC.g ⁻¹ de forragem)	4,98	4,14
Bactérias ácido-láticas (log ₁₀ UFC.g ⁻¹ de forragem)	n.d.	5,28

MSc: Matéria seca corrigida conforme equação de Weissbach, (2009); MO: matéria orgânica; PB: proteína bruta; EE: extrato etéreo; FDNcp: fibra em detergente neutro corrigida para cinzas e proteínas; FDAcp: fibra em detergente ácido corrigida para cinzas e proteínas; DIVMSc: digestibilidade *in vitro* da matéria seca corrigida. N.d.: não determinado.

A segunda amostra foi utilizada para a obtenção do extrato aquoso, segundo a metodologia descrita por Kung Jr. et al. (1984), onde foi determinado o pH, em potenciômetro digital (modelo 23DM, Digimed Instrumentação Analítica, São Paulo, SP, Brasil). Parte restante dessa amostra úmida foi utilizada para AGCC, ácido lático e etanol. Os teores de AGCC e etanol foram determinados em cromatógrafo gasoso

com detector de massas (Focus GC, Shimadzu Corporation, Kyoto, Japão). A aparelho foi estabilizado com o nitrogênio como gás de arraste, na vazão de 25 mL.min⁻¹. O oxigênio foi utilizado como gás comburente, na vazão de 270 mL.min⁻¹ e o hidrogênio, como gás combustível, na vazão de 30 mL.min⁻¹. As temperaturas de trabalho foram: do injetor, a 220°C, do detector de ionização de chama, a 250°C e da coluna a 150°C inicial, mantendo-se assim por 2 minutos e, em seguida, utilizou-se uma rampa de aumento de 10°C por minutos até atingir 210°C. O ácido láctico foi determinado por colorimetria, segundo metodologia de Pryce (1969).

A terceira amostra foi colhida para as avaliações microbiológicas. Foram pesados 25 g de silagem (matéria natural) e adicionado a 225 mL de solução peptonada 0,1%. Após agitação, retirou-se 1 mL da diluição para as posteriores diluições de 10⁻² a 10⁻⁷ e, a partir dessas diluições, foram realizadas as semeaduras de 1 mL em placas de Petri estéreis e descartáveis contendo o meio ágar batata dextrose, acidificado com ácido láctico, e incubadas em aerobiose a 28 °C por 72 horas para contagem das colônias de leveduras (Jobim et al., 1999). Para a contagem de bactérias ácido-láticas (BAL) foi utilizado o meio de cultura Lactobacillus MRS Agar, sendo as placas incubadas a 35 °C por 72 horas. Foram consideradas passíveis de contagem as placas com valores entre 30 e 300 unidades formadoras de colônias (UFC).

Nos dias de abertura dos silos (3, 7, 14, 28 e 56 dias de fermentação), também foram retiradas três sub-amostras de cada silagem, que foram preparadas conforme a metodologia descrita para análises microbiológicas e pH, mas apenas nas silagens de 56 dias de fermentação foram realizadas as análises químicas, perdas de MS, além das análises de etanol e ácidos orgânicos.

Nas silagens que permaneceram armazenadas por 56 dias, analisou-se a estabilidade aeróbia (KUNG JR., 2003), onde a quebra da estabilidade foi mensurada quando a temperatura excedeu em 2 °C a temperatura ambiente. As análises da estabilidade foram realizadas nos tempos 0, 4, 8 e 12 dias após a abertura dos silos. Aproximadamente 4 kg de silagem foram colocados em baldes plásticos e armazenados a temperatura ambiente. A leitura da temperatura foi registrada a cada meia hora com o auxílio de um *datalogger* (ESCORT®, Intelligent MINI) inserido no centro da massa de silagem e a temperatura ambiente foi medida

por meio de *dataloggers* distribuídos próximos aos baldes. Amostragens foram realizadas nos tempos pré-determinados da exposição aeróbia para avaliação do pH e crescimento de leveduras, como já descritos.

Os dados de perfil fermentativo e estabilidade aeróbia foram analisados utilizando o delineamento inteiramente casualizado com medidas repetidas no tempo, sendo os tamanhos de partículas os tratamentos e os tempos de armazenagem o fator de repetição no tempo, com 3 repetições por tempo e por tratamento, segundo o modelo $Y_{ij} = \mu + P_i + A_{j:i} + T_k + PT_{ik} + e_{ijk}$, onde os efeitos fixos foram μ = média geral; P_i = efeito de tratamento ($i = T5, T10, T15$ e $T20$); T_k = tempos de abertura dos silos ($k = 0, 3, 7, 14, 28$ e 56 dias para perfil fermentativo e $0, 4, 8$ e 12 dias para exposição aeróbia); PT_{ik} = interação entre tratamento e tempos de abertura; e efeitos aleatórios de $A_{j:i}$ (balde aninhado em tratamento) e e_{ijk} = erro experimental. Utilizaram-se os silos experimentais como o termo do erro das análises. As matrizes FA1 (Factor Analytic first order) e TOEP (Toeplitz) foram as melhores estruturas de covariância ajustadas para os dados, devido as suas menores pontuações, segundo o critério BIC. A composição química e as perdas de MS foram analisadas em delineamento inteiramente casualizado, com 4 tratamentos e 3 repetições, segundo o modelo $Y_{ij} = \mu + P_i + e_{ij}$. Em que μ = média geral; P_i = efeito de tratamento ($i = T5, T10, T15, T20$); e_{ij} = erro experimental. As diferenças entre estes valores foram determinados utilizando o teste Fisher-F. Todos os resultados foram submetidos à análise de variância usando o procedimento MIXED do programa estatístico do SAS 9.0 e, se significativo, tanto o fator tamanho de partícula como o tempo de armazenamento ou exposição aeróbia, foram avaliados por meio de contrastes ortogonais para determinação do tipo de comportamento (linear e/ou quadrático) utilizando esse mesmo programa estatístico. Como os valores dos tamanhos de partículas e os dias de armazenamento não foram equidistantes entre si, os coeficientes das matrizes dos contrastes ortogonais foram determinados pelo procedimento IML.

Avaliaram-se estatisticamente os dois anos de execução do experimento de forma separada devido à diferença encontrada entre o mesmo tamanho de partícula em cada ano de execução experimental. Caso fossem avaliados conjuntamente, haveria um confundimento dos resultados dos comportamentos dos contrastes, já

que os parâmetros para esta análise foram determinados com os valores verdadeiramente encontrados, e não aqueles estimados inicialmente. A significância foi declarada quando $P < 0,05$.

Resultados

ANO 1

Observou-se efeito significativo entre as silagens no TMP como preconizado inicialmente ($P < 0,01$). A distribuição das partículas foi alterada ($P < 0,01$) pelos tratamentos em todas as estratificações estudadas (Tabela 2).

Tabela 2. Distribuição e tamanho médio de partículas e densidade das diferentes silagens de cana-de-açúcar – Ano 1

Item	Tamanho de partícula (mm)*				EPM ¹	Valor P	Efeito ²	
	T5	T10	T15	T20			L	Q
<i>Distribuição dos tamanhos médios de partículas (g.kg⁻¹ MN)</i>								
> 19,0 mm (P1)	3,33	123	363	409	12,9	<0,01	<0,01	0,081
19,0 a 8,0 mm (P2)	358	510	326	312	21,0	<0,01	0,017	<0,01
8,0 a 1,18 mm (P3)	399	160	110	76,7	15,0	<0,01	<0,01	0,100
< 1,18 mm (fundo)	39,3	6,67	0,70	2,00	3,46	<0,01	<0,01	0,152
TMP	6,10	11,0	15,7	17,2	2,64	<0,01	<0,01	0,269
Densidade (kg de MV.m ⁻³)	601	559	543	530	10,0	<0,01	<0,01	0,447

TMP: tamanho médio de partícula. ¹EPM: erro padrão da média. ²Efeitos dos contrastes: L: linear, Q: quadrático

As partículas retidas na peneira com abertura de 8,0 mm (P2) ajustaram-se ao modelo quadrático. Partículas retidas na peneira com aberturas maiores do que 19 mm aumentaram linearmente com o aumento do TMP. Ao contrário, partículas retidas nas peneiras P3 e fundo sem abertura decresceram com o aumento do TMP. Observou-se efeito linear para a densidade das silagens de cana-de-açúcar, com diminuição desta quando se aumentou o TMP.

Interação significativa ($P < 0,01$) entre tamanho de partículas e dias de armazenamento foram observadas para as populações de leveduras e pH das

silagens. A concentração inicial de leveduras entre as silagens foi semelhante, mas a taxa de crescimento comportou-se de forma diferente ($P < 0,01$). A silagem T10 apresentou crescimento maior e mais acelerado, pois com 7 dias de armazenamento, já alcançou o seu pico de fermentação, chegando a ficar 1,12 e 0,88 pontos acima das silagens T5 e T20, respectivamente. Apesar disso, essa população se igualou entre as silagens com 14 dias de armazenamento (Figura 1A).

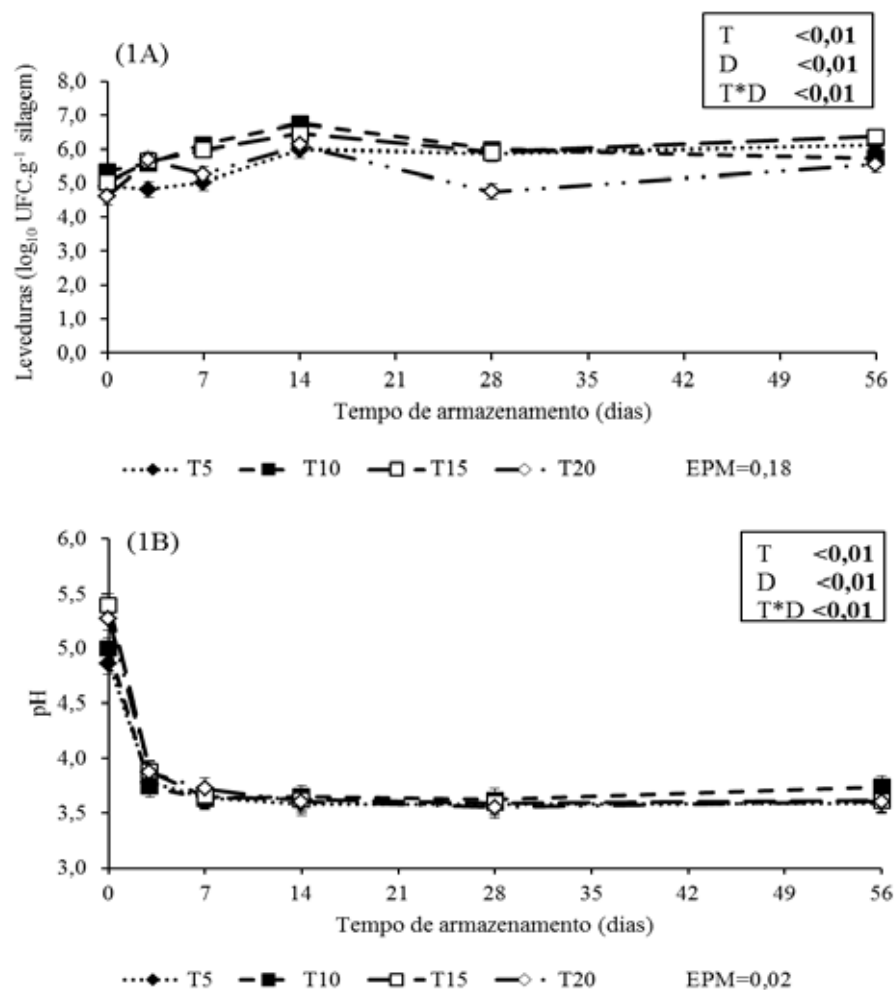


Figura 1 - População de levedura (A) e pH (B) das silagens de cana-de-açúcar com diferentes tamanhos de partículas em diferentes tempos de armazenamento. T: valor de probabilidade para TMP; D: valor de probabilidade para dias de armazenamento; T*D: valor de probabilidade para a interação entre TMP e dias de armazenamento. EPM – erro padrão da média – Ano 1

Os valores de pH inicial foram significativamente diferentes nas silagens, mas o abaixamento deste deu-se de forma que diferente, igualando os valores entre os tratamentos com apenas 7 dias de armazenamento. Todas as silagens apresentaram seus menores valores de pH nesse período de armazenamento, exceto na T20, que somente atingiu seu menor valor no 14º dia. Além disso, todas as silagens mantiveram estáveis até a avaliação de 56, exceto T10, que elevou esse valor de 3,62 para 3,74 (Figura 1B).

Não foi observada perda por formação de efluente. Observou-se diferença significativa para a recuperação de matéria seca (RMS) entre os tratamentos ($P=0,024$), sendo o tratamento T10 e T15 aqueles que apresentaram menores resultados (Tabela 3). As perdas na forma de gás apresentaram comportamento quadrático, sendo os maiores valores observados nas silagens com tamanhos intermediários, T10 e T15.

Quando se observa diferenças em alguma forma de perda de MS, modificações na composição química também são observadas (Tabela 3). Os conteúdos de MS, MSc, EE, FDAcp e DIVMS não diferiram significativamente ($P>0,05$). Os diferentes tamanhos de partículas das silagens resultaram em modificações significativas nas concentrações de MO, apresentando efeito quadrático, com o ponto de mínimo observado na silagem T10. A concentração de PB também se diferiu de forma quadrática, mas observado ponto de máximo ocorrido na silagem T15.

As frações FDNcp e lignina ajustaram-se ao modelo quadrático, apresentando as suas máximas concentrações na silagem T10, com concentrações de 651 e 82,6 g.kg⁻¹ MSc, respectivamente.

As concentrações de etanol e ácido propiônico comportaram-se de forma quadrática, sendo a silagem T10 àquela que apresentou maior valor nessas duas variáveis. O ácido butírico teve comportamento linear crescente ($P<0,01$), com o aumento do tamanho de partícula da silagem. Não foram observadas diferenças significativas para as concentrações de ácido láctico e ácido acético ($P>0,05$).

Tabela 3. Perdas de matéria seca, composição química e digestibilidade *in vitro* da matéria seca das silagens com diferentes tamanhos de partículas após 56 dias de armazenamento – Ano 1

Item	Tamanho de partícula (mm)*				EPM ¹	Valor P	Efeito ²	
	T5	T10	T15	T20			L	Q
<i>Perdas de matéria seca</i>								
Recuperação de MSc (%)	92,0	88,5	88,0	91,3	0,73	0,024	0,128	<0,01
Produção de gás (% MSc)	9,68	11,5	10,3	9,23	0,33	<0,01	0,361	<0,01
<i>Composição bromatológica</i>								
MS (g.kg ⁻¹)	322	330	320	344	1,98	0,066	0,182	0,041
MSc (g.kg ⁻¹)	365	382	375	376	3,78	0,065	0,107	0,034
MO (g.kg ⁻¹ MSc)	866	843	835	899	1,08	<0,01	<0,01	<0,01
PB (g.kg ⁻¹ MSc)	18,9	20,6	22,2	19,8	0,52	0,011	0,030	0,039
EE (g.kg ⁻¹ MSc)	9,31	8,41	8,55	8,53	0,87	0,876	0,545	0,630
FDNcp (g.kg ⁻¹ MSc)	642	651	629	637	9,71	0,011	0,776	0,048
FDAcp (g.kg ⁻¹ MSc)	394	399	387	396	7,35	0,058	0,233	0,956
LIG (g.kg ⁻¹ MSc)	79,1	82,6	76,7	76,8	1,63	0,015	0,113	0,034
DIVMS (g.kg ⁻¹ MSc)	592	553	628	601	16,9	0,076	0,095	0,156
<i>Características fermentativas</i>								
Etanol (g.kg ⁻¹ MSc)	71,6	79,3	71,4	69,7	3,61	<0,01	<0,01	<0,01
Ácido Lático (g.kg ⁻¹ MSc)	17,2	14,8	23,4	17,5	2,39	0,151	0,265	0,632
Ácido Acético (g.kg ⁻¹ MSc)	9,16	9,31	9,58	9,24	0,669	0,973	0,809	0,848
Ácido Propiônico (g.kg ⁻¹ MSc)	1,11	1,11	1,10	0,765	0,052	<0,01	<0,01	0,021
Ácido Butírico (g.kg ⁻¹ MSc)	0,102	0,102	0,127	0,121	0,004	0,014	<0,01	0,309

*Tratamentos: T5: silagem de cana-de-açúcar picada a 6,1mm; T10: silagem de cana-de-açúcar picada a 11,0 mm; T15: silagem de cana-de-açúcar picada a 15,7 mm; T20: silagem de cana-de-açúcar picada a 17,2 mm. MS: Matéria seca; MSc: Matéria seca corrigida conforme equação de Weissbach, (2009); MO: matéria orgânica; PB: proteína bruta; EE: extrato etéreo; FDNcp: fibra em detergente neutro corrigida para cinzas e proteína; FDAcp: fibra em detergente ácido corrigida para cinzas e proteína; LIG: lignina, DIVMS: digestibilidade *in vitro* da matéria seca. ¹EPM: erro padrão da média. ²Efeitos dos contrastes: L: linear; Q: quadrático.

Observou-se interação ($P<0,01$) entre os tamanhos de partículas e os dias de exposição aeróbica na contagem de leveduras e valores de pH (Figura 2). No dia de abertura dos silos, a silagem T20, juntamente com a T10, eram aquelas que apresentavam menores contagens ($P<0,05$), mas com apenas 4 dias de exposição, esse valor era semelhante entre todas as silagens. Até o oitavo dias de exposição

aeróbia, os tratamentos com menores tamanhos de partículas (T5 e T10) mantiveram a população de leveduras estável, apresentando elevação apenas no 12º dia de exposição. Diferentemente destes, os tamanhos de partículas T15 e T20 já apresentaram aumento na contagem de colônias de leveduras com oito dias de exposição. Com 8 dias de exposição aeróbica, as silagens T5 e T10 possuíam menores contagens de leveduras, diferenciando significativamente de T15 e T20. Após 12 dias de exposição, as contagens de colônias de leveduras não se diferiram estatisticamente entre as silagens com diferentes tamanhos de partículas (Figura 2A).

A silagem T10 possuía menor valor de pH no momento da abertura dos silos, mas com apenas 4 dias de exposição, diferenças significativas não foram mais observadas (Figura 2B). O aumento de pH na silagem T20 ocorreu de forma mais rápida entre os dias 4 e 12, quando comparada às outras, sendo que T5 apresentou a menor elevação do pH (aumento de 3,03 e 1,86 unidades do dia 0 ao 12º para T20 e T5, respectivamente).

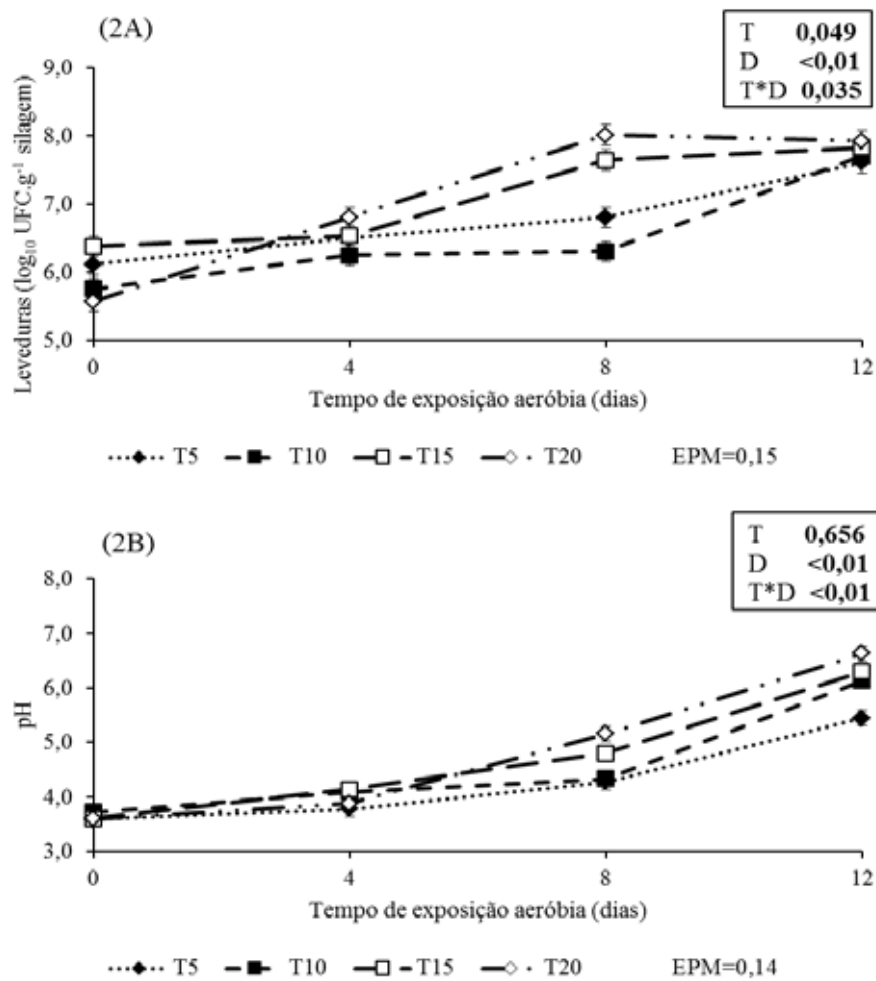


Figura 2 - População de levedura (A) e pH (B) das silagens de cana-de-açúcar com diferentes tamanhos de partículas em diferentes tempos de exposição aeróbia. T: valor de probabilidade para TMP; D: valor de probabilidade para dias de exposição aeróbia; T*D: valor de probabilidade para a interação entre TMP e dias de exposição aeróbia. EPM – erro padrão da média – Ano 1

Observou-se efeito linear decrescente da estabilidade aeróbia com o aumento do tamanho de partícula ($P=0,036$). As demais variáveis não foram influenciadas ($P>0,05$) pelos tamanhos de partículas (Tabela 4).

Tabela 4. Estabilidade aeróbia das silagens de cana-de-açúcar com diferentes tamanhos de partículas – Ano 1

Item	Tamanho de partículas (mm)*				EPM ¹	Valor P	Efeito ²	
	T5	T10	T15	T20			L	Q
<i>Estabilidade aeróbia</i>								
EA (horas)	38,3	51,7	14,3	25,5	6,17	0,036	0,020	0,129
Tmáx (°C)	10,6	10,0	11,1	10,8	0,83	0,228	0,908	0,315
TTmáx (horas)	102	124	73	140	3,46	0,141	0,171	0,608
ADITE-4 (°C)	3,7	2,8	4,0	4,2	0,93	0,329	0,307	0,113
ADITE-8 (°C)	3,9	3,3	4,8	5,6	0,83	0,153	0,055	0,238
ADITE-12 (°C)	4,6	3,9	5,3	5,9	0,35	0,075	0,387	0,054

*Tratamentos: T5: silagem de cana-de-açúcar picada a 6,1mm; T10: silagem de cana-de-açúcar picada a 11,0 mm; T15: silagem de cana-de-açúcar picada a 15,7 mm; T20: silagem de cana-de-açúcar picada a 17,2 mm. EA = estabilidade aeróbia, Tmáx = Diferença máxima de temperatura ente ambiente e silagem. TTmáx = tempo necessário para se atingir a diferença entre a diferença de temperatura máxima ente ambiente e silagem, ADITE-4, ADITE-8 e ADITE-12 = acúmulo da diferença média diária entre a temperatura das silagens expostas ao ar e a temperatura ambiente em 4, 8 e 12 dias. ¹EPM: erro padrão da média. ²Efeitos dos contrastes: L: linear; Q: quadrático.

ANO 2

Houve efeito significativo para os TMP das silagens de cana-de-açúcar, da forma preconizada inicialmente ($P < 0,01$). A distribuição das partículas foi alterada ($P < 0,01$) pelos diferentes tamanhos de partículas em todas as estratificações (Tabela 5). Partículas retidas na peneira com aberturas maiores do que 19 mm (P1) aumentaram linearmente com o aumento do TMP. As partículas retidas na peneira com abertura de 8,0 mm (P2) ajustaram-se ao modelo quadrático, sendo T10 a silagem que possuiu maior valor observado. Já as partículas retidas nas peneiras P3 e fundo sem abertura decresceram quadraticamente com o aumento do TMP. Observou-se efeito quadrático para a densidade das silagens, sendo T10 aquele que obteve menores valores.

Tabela 5. Distribuição e tamanho médio de partículas e densidade das diferentes silagens de cana-de-açúcar – Ano 2

Item	Tamanho de partícula (mm)*				EPM ¹	Valor P	Efeito ²	
	T5	T10	T15	T20			L	Q
<i>Distribuição dos tamanhos médios de partículas (g kg⁻¹ MN)</i>								
> 19,0 mm	35,0	139	364	398	9,26	<0,01	<0,01	0,072
19,0 a 8,0 mm	370	478	244	290	18,1	<0,01	<0,01	<0,01
8,0 a 1,18 mm	310	168	191	110	13,8	<0,01	<0,01	0,039
< 1,18 mm	85,3	14,3	0,67	0,67	7,54	<0,01	<0,01	0,017
TMP	6,1	10,7	13,7	16,3	2,01	<0,01	<0,01	0,543
Densidade (kg de MV.m ⁻³)	624	600	620	618	4,87	<0,01	0,895	<0,01

TMP: tamanho médio de partícula. ¹EMP: erro padrão da média. ²Efeitos L: linear, Q: quadrático.

A interação entre tamanhos de partículas e dias de armazenamento não foi significativa ($P=0,595$) para a população de leveduras. Observou-se efeito de tamanho de partícula, ajustando-se ao modelo quadrático ($P=0,036$), sendo a silagem T15 aquela que apresentou menor população (Figura 3A). Ao longo dos dias de armazenamento, a população de leveduras também foi influenciada pelo modelo quadrático ($P<0,01$) e apresentou seu pico de crescimento com 7 e 14 dias após a ensilagem, decrescendo nas avaliações realizadas com 28 e 56 dias de armazenamento.

A população de bactérias lácticas no momento da ensilagem era diferente entre as silagens (Figura 3B). Apesar disso, essas concentrações se igualaram com 14 dias de armazenamento. O pico dessa população deu-se de forma diferente entre as silagens, sendo que T5, T15 e T20 obtiveram valores mais elevados no 3º dia, com posterior queda. Já a silagem T10 manteve-se com a mesma concentração de BAL do 3º até o 14º dia de avaliação (Figura 3B).

Os valores de pH inicial foram diferentes entre as silagens (Figura 3C), sendo T20 aquela com menor valor e T5, o mais elevado. Apesar disso, foram necessários apenas 3 dias de armazenamento para que esses valores se igualassem e mantivessem similares entre os tratamentos em todas as avaliações.

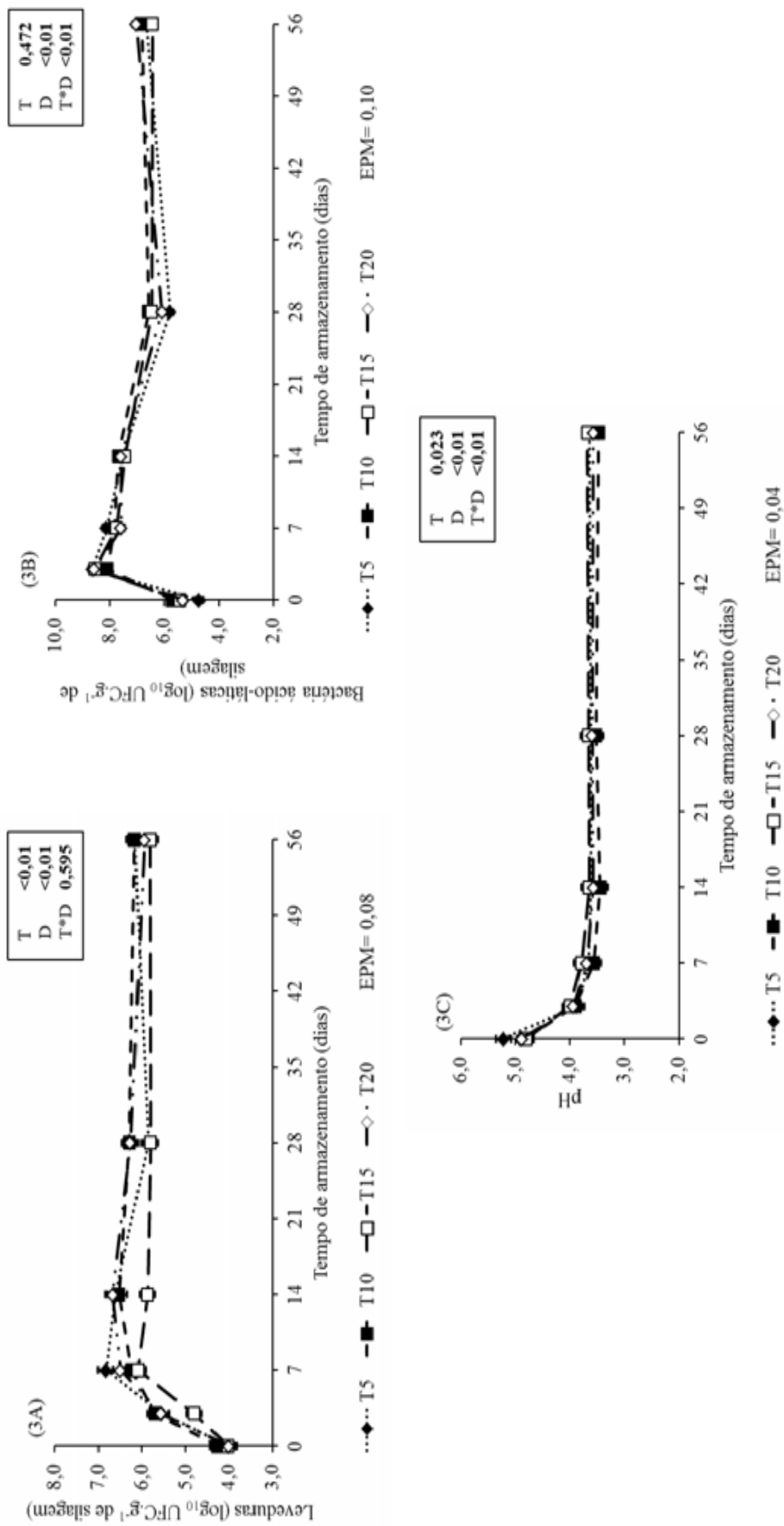


Figura 3 - População de leveduras (A), bactérias ácido-láticas (B) e pH (C) das silagens de cana-de-açúcar com diferentes tamanhos de partículas em diferentes tempos de armazenamento. T: valor de probabilidade para TMP; D: valor de probabilidade para dias de armazenamento; T*D: valor de probabilidade para a interação entre TMP e dias de armazenamento. EPM – erro padrão da média – Ano 2

Não foi observada perda por formação de efluente. Observou-se diferença significativa para a recuperação de matéria seca (RMS) entre os tratamentos ($P=0,042$), sendo o tratamento T10 e T15 aqueles que apresentaram maiores recuperações finais (Tabela 6). As perdas na forma de gás apresentaram comportamento quadrático, sendo que os menores valores foram observados nas silagens T10 e T15.

Os valores de PB, EE, FDAcp e DIVMS não foram afetados pelos tamanhos de partículas ($P>0,05$). Os diferentes tamanhos de partículas das silagens resultaram em modificações significativas nas concentrações de MS, MSc, MO, FDNcp e LIG (Tabela 6). A MS e MSc comportaram-se de forma quadrática, apresentando maiores valores nas silagens T10 e T15, o que levou a um comportamento quadrático inverso nas concentrações de FDNcp e LIG, com menores valores em T10 e T15. Houve efeito significativo nas concentrações de etanol, sendo as silagens T10 e T15 aquelas que possuíram menores concentrações. A concentração de ácido butírico ajustou-se ao modelo quadrático, com a mínima concentração observada na silagem T10. Os ácidos acético, propiônico e láctico não apresentaram efeito significativo ($P>0,05$).

Tabela 6. Perdas de matéria seca, composição química e digestibilidade *in vitro* da matéria seca das silagens com diferentes tamanhos de partículas após 56 dias de armazenamento – Ano 2

Item	Tamanho de partícula (mm)*				EPM ¹	Valor P	Efeito ²	
	T5	T10	T15	T20			L	Q
<i>Perdas de matéria seca</i>								
Recuperação de MSc (%)	81,1	89,1	85,3	79,9	2,38	0,042	0,844	0,020
Produção de gás (% MSc)	18,9	8,72	11,4	14,2	1,50	<0,01	0,049	<0,01
<i>Composição química</i>								
MS (g.kg ⁻¹)	270	310	307	266	15,1	<0,01	0,959	<0,01
MSc (g.kg ⁻¹)	314	362	333	299	8,83	<0,01	0,330	<0,01
MO (g.kg ⁻¹ MSc)	828	829	893	863	1,38	<0,01	<0,01	<0,01
PB (g.kg ⁻¹ MSc)	22,6	22,5	22,5	21,7	0,51	0,598	0,341	0,588
EE (g.kg ⁻¹ MSc)	8,92	9,24	8,44	8,12	0,92	0,829	0,491	0,571
FDNcp (g.kg ⁻¹ MSc)	635	608	625	635	8,28	0,023	0,194	0,045
FDAcP (g.kg ⁻¹ MSc)	397	371	401	406	8,94	0,086	0,238	0,029
LIG (g.kg ⁻¹ MSc)	72,8	64,8	68,7	77,8	2,64	0,040	0,364	<0,01
DIVMS (g.kg ⁻¹ MSc)	618	645	614	622	13,4	0,148	0,439	0,266
<i>Características fermentativas</i>								
Etanol (g.kg ⁻¹ MSc)	89,5	70,3	72,3	86,4	6,96	0,020	0,048	0,036
Ácido Lático (g.kg ⁻¹ MSc)	21,5	16,2	22,9	24,8	2,12	0,313	0,332	0,125
Ácido Acético (g.kg ⁻¹ MSc)	11,4	10,2	9,43	13,1	0,861	0,169	0,668	0,051
Ácido Propiônico (g.kg ⁻¹ MSc)	1,39	1,21	1,10	1,18	0,098	0,183	0,139	0,709
Ácido Butírico (g.kg ⁻¹ MSc)	0,128	0,112	0,127	0,171	0,011	0,023	0,045	0,018

*Tratamentos: T5: silagem de cana-de-açúcar picada a 6,1 mm; T10: silagem de cana-de-açúcar picada a 10,7 mm; T15: silagem de cana-de-açúcar picada a 13,7 mm; T20: silagem de cana-de-açúcar picada a 16,3 mm. MS: Matéria seca; MSc: Matéria seca corrigida conforme equação de Weissbach, (2009); MO: matéria orgânica; PB: proteína bruta; EE: extrato etéreo; FDNcp: fibra em detergente neutro corrigida para cinzas e proteína; FDAcp: fibra em detergente ácido corrigida para cinzas e proteína; LIG: lignina, DIVMS: digestibilidade *in vitro* da matéria seca. ¹EPM: erro padrão da média. ²Efeito L: linear; Q: quadrático

Não se observou efeito significativo para a interação (P=0,336) entre tratamento e dias de exposição aeróbia para a população de leveduras (Figura 4A). Não houve efeito de tamanhos de partícula para essa variável (P=0,394), apresentando média de 7,02 log₁₀ UFC.g⁻¹ de silagem. Já nos dias de exposição aeróbia, os resultados indicaram crescimento linear (P<0,01) ao longo do tempo.

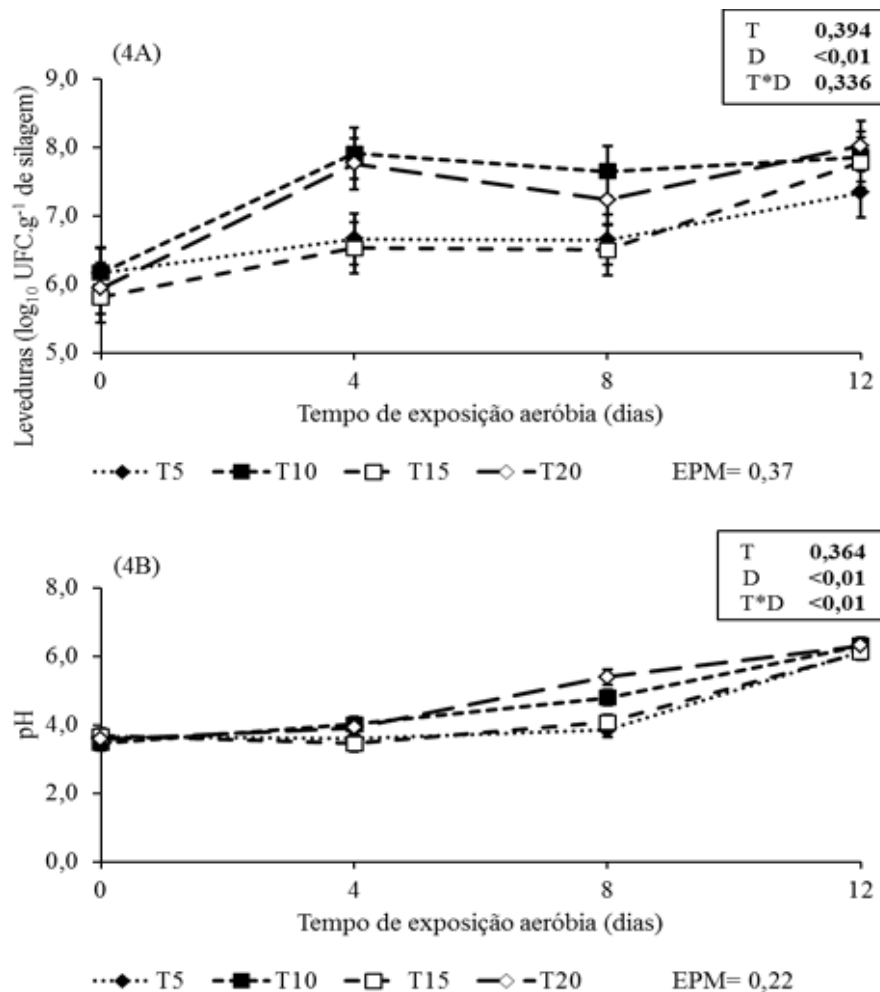


Figura 4 - População de levedura (A) e pH (B) das silagens de cana-de-açúcar com diferentes tamanhos de partículas em diferentes tempos de exposição aeróbia. T: valor de probabilidade para TMP; D: valor de probabilidade para dias de exposição aeróbia; T*D: valor de probabilidade para a interação entre TMP e dias de exposição aeróbia. EPM – erro padrão da média – Ano 2

Observou-se interação entre os tamanhos de partículas e os dias de exposição aeróbica nos valores de pH (Figura 4B). No momento de abertura dos silos, os valores de pH eram diferentes, mas igualaram-se com 12 dias de exposição. A silagem T5 manteve o pH estável até o 8º dia, atingindo valor máximo apenas com 12 dias de exposição. Já a silagem T20 atingiu o seu maior valor no 8º

dia. A silagem T10 manteve elevação de pH significativa em todos os tempos avaliados.

O tempo para a quebra da estabilidade aeróbia não foi influenciada estatisticamente ($P=0,126$) pelos diferentes tamanhos de partícula para a silagem de cana-de-açúcar (Tabela 7), ocorrendo 16,2 horas após o início da exposição aeróbia. Houve efeito significativo para o acúmulo da diferença entre as temperaturas do ambiente e da silagem após 4 (ADITE 4) e 8 (ADITE 8) dias de exposição aeróbia, com ajustes ao modelo quadrático e linear, respectivamente. Tanto a diferença máxima de temperatura ente ambiente e silagem ($T_{m\acute{a}x}$) quando o acúmulo da diferença entre as temperaturas do ambiente e da silagem após 12 de exposição não foram afetadas pelos diferentes TMP.

Tabela 7 - Estabilidade aeróbia das silagens de cana-de-açúcar com diferentes tamanhos de partículas – Ano 2

Item	Tamanho de partícula (mm)*				EPM ¹	Valor P	Efeito ²	
	T5	T10	T15	T20			L	Q
<i>Estabilidade aeróbia</i>								
EA (horas)	20,8	9,8	14,5	19,5	4,58	0,126	0,836	0,086
$T_{m\acute{a}x}$ (°C)	10,5	13,3	12,4	16,0	0,61	0,181	0,333	0,150
TT $_{m\acute{a}x}$ (horas)	103	62	61	111	34,6	0,014	0,267	0,006
ADITE-4 (°C)	3,3	6,6	4,1	3,8	0,60	<0,01	0,171	<0,01
ADITE-8 (°C)	4,0	4,7	4,9	5,4	0,33	0,025	<0,01	0,787
ADITE-12 (°C)	4,1	3,8	4,4	4,9	0,34	0,069	0,152	0,055

*Tratamentos: T5: silagem de cana-de-açúcar picada a 6,1mm; T10: silagem de cana-de-açúcar picada a 10,7 mm; T15: silagem de cana-de-açúcar picada a 13,7 mm; T20: silagem de cana-de-açúcar picada a 16,3 mm. EA = estabilidade aeróbia, $T_{m\acute{a}x}$ = Diferença máxima de temperatura ente ambiente e silagem. TT $_{m\acute{a}x}$ = tempo necessário para se atingir a diferença entre a diferença de temperatura máxima ente ambiente e silagem, ADITE-4, ADITE-8 e ADITE-12 = acúmulo da diferença média diária entre a temperatura das silagens expostas ao ar e a temperatura ambiente em 4, 8 e 12 dias. ¹EPM: erro padrão da média. ²Efeito L: linear; Q: quadrático

Discussão

A diferença observada para TMP segue como esperado nos dois anos de avaliações. Com isso, percebe-se que diferentes pares de engrenagens provêm

partículas diferentes e essa foi a premissa para o delineamento desses experimentos. Os diferentes TMP foram resultados da diferença na distribuição das partículas nas peneiras. Para aumento do TMP, também se observou aumento de partículas maiores do que 19 mm, ocasionada pela diferença dos cortes proporcionados pela máquina, levando a menor quantidade de partículas menores do que 1,18 mm.

Um dos aspectos que pode interferir na densidade da silagem é o tamanho de partícula da forragem, pois afeta o grau de compactação (quanto menor a partícula, melhor a compactação e maior a densidade) e, por consequência, pode alterar o processo de fermentação e conservação da silagem (NUSSIO, 1995). No primeiro ano de avaliação, a diminuição linear da densidade da silagem foi ocasionada devido ao aumento do TMP e menor grau de compactação. Comportamento semelhante foi encontrado no trabalho de Neumann et al. (2007), que avaliaram dois tamanhos de corte para a silagem de milho, um pequeno (entre 0,2 e 0,6 cm) e outro grande (entre 1,0 e 2,0 cm) e encontraram densidades de 541,1 e 495,6 kg MV. m⁻³. Já no segundo ano de avaliação, o comportamento quadrático não era o esperado, indicando que possivelmente a compactação foi realizada em maior grau.

O comportamento da população de leveduras foi relativamente similar para os dois anos de avaliação, apresentando seu pico de crescimento com 7 a 14 dias de armazenamento, devido a alta taxa de fermentação que ocorre o interior do silo nos primeiros dias após a ensilagem. Após o pico, há um leve decréscimo da população de leveduras e a manutenção quase constante ao longo do período de armazenamento avaliado, independente do tamanho de partícula, por causa da diminuição da concentração de carboidratos solúveis prontamente disponíveis. Comportamento semelhante foi observado por Pedroso et al. (2005), com pico de crescimento de leveduras e posterior queda e constância em seu crescimento ao longo do tempo de armazenamento.

Apesar das interações significativas nos valores de pH, o seu rápido decréscimo pode ser atribuído ao alto teor de carboidratos solúveis (PEDROSO et al., 2005) e à baixa capacidade tampão (SIQUEIRA et al., 2007a), o que assegura bons parâmetros fermentativos. Aos 56 dias de armazenamento do primeiro ano de avaliação, a silagem T10 teve um sutil acréscimo de pH, resultando em diferenças

significativas. Esse fato deve-se ao consumo de ácido láctico por leveduras, pois várias espécies de leveduras tem capacidade de fermentar esse ácido a etanol quando há diminuição na concentração de carboidratos solúveis disponíveis (EVANGELISTA et al., 2009).

As bactérias lácticas são os microrganismos responsáveis, juntamente com as enterobactérias, pelo abaixamento inicial do pH a valores que inibam o crescimento de microrganismos indesejáveis (McDONALD et al., 1991). A disponibilidade de carboidratos solúveis e condição de anaerobiose faz com que essas bactérias se desenvolvam até alcançar seu pico de crescimento, observado nesse experimento com 14 dias de armazenamento. Uma vez que o pH tenha diminuído significativamente, as bactérias lácticas tornam-se inativas e sua população diminui lentamente (ROTZ e MUCK, 1994), fato que leva a curva de crescimento observada no segundo ano de avaliação.

A formação de efluentes não foi detectada nesses dois anos de experimento devido ao alto teor inicial de MS, com valores de 38,4 e 37,1 % de MS corrigida. O volume de efluente produzido em um silo é influenciado, principalmente, pelo conteúdo de matéria seca da espécie forrageira ensilada e pelo grau de compactação (WOOLFORD, 1984). Haigh (1999) utilizou-se de modelos matemáticos que relacionavam produção de efluente e matéria seca da forragem e concluiu que valores de MS entre 28,5 e 30,7 % seriam necessários para eliminar a produção de efluente. A cana-de-açúcar foi colhida com alta proporção de MS devido a época de colheita, realizada em Novembro de 2011. Apesar de não ter sido detectada nesse trabalho, as perdas por formação de efluente são comumente encontradas nas silagens de cana-de-açúcar, podendo variar de 15,1 (PEDROSO et al., 2007) a 76,2 kg/t MV (SIQUEIRA et al. 2007b). O tamanho de partícula influencia no grau de compactação da forragem e conseqüentemente, as perdas por formação de efluentes, que ocorre devido aos danos feito no tecido vegetal durante a picagem (WOOLFORD, 1984). Esperava-se o aumento da produção de efluentes com a diminuição do tamanho de partícula e aumento do grau de compactação, como o resultado observado por TAVARES et al. (2009), onde a silagem de capim-Tanzânia apresentou aumento de 107,60 L/t de silagem na produção de efluente quando passou da densidade de 400 para 900 kg/m³.

Quando há o estabelecimento das condições de anaerobiose no interior do silo, os microrganismos atuam fermentando hexoses (glicose e frutose) e pentoses (ribose e xilose) produzindo ácido lático, ácidos orgânicos, etanol e dióxido de carbono (CO₂). O CO₂, juntamente com o etanol, são os principais compostos voláteis produzidos pela rota metabólica energética das leveduras e se desprendem do sistema, ocasionando as perdas de MS por formação de gás (McDONALD et al., 1991). O efeito das perdas finais por produção de gás entre os tamanhos de partículas explica-se pela interação da concentração de leveduras e os dias de armazenamento, que, no primeiro ano de avaliação, apesar de se igualarem com 14 dias, observou-se um pico na concentração de leveduras mais elevado na silagem T10 e essas devem ter promovido maior fermentação da massa de silagem, a qual promoveu maior perda na forma de gás. Já no segundo ano de avaliação, provavelmente devido a elevada densidade da massa ensilada, a produção de gás foi mais elevada na silagem T5. Silagens de outras forrageiras onde a fermentação alcoólica não é predominante, o menor tamanho de partícula altera a produção de gás de forma a diminuir essa formação, devido ao predomínio da fermentação láctica (TAVARES et al., 2009). Já a silagem de cana-de-açúcar que possui uma microflora epifítica rica em leveduras, chegando a 1×10^6 UFC/g de forragem fresca (ÁVILA et al., 2010), não há predominância da fermentação láctica em todo o período de armazenamento, o que leva ao crescimento acelerado de leveduras após o abaixamento do pH e controle das bactérias lácticas, principalmente em silagens com menores tamanhos de partículas, elevando as perdas por formação de gás.

Como nesses experimentos não foram observadas perdas por formação de efluente, as silagens que possuem maiores perdas por formação de gás foram aquelas que, normalmente, apresentaram menores valores de RMS.

Qualquer técnica de conservação de forragem, principalmente a ensilagem, é um procedimento que leva a diminuição do valor nutritivo, uma vez que durante o processo ocorrem reações químicas que degradam compostos de alto valor nutricional, como carboidratos solúveis e proteínas (WOOLFORD, 1984). Quando há perdas de MS, modificações na composição bromatológica ficam evidenciadas. Independente do ano de avaliação, diminuição na concentração de MO ficou evidenciada nas silagens onde há maiores níveis de perdas por produção de gás, já

que o CO₂ é formado pela fermentação de produtos orgânicos, mas não gerou alteração na concentração de MS e MSc no primeiro ano de avaliação, devido ao acúmulo de minerais na composição dessas silagens. Sabe-se que a perda de fração mineral ocorre normalmente junto ao efluente, mas esse não foi detectado nesse experimento. No segundo ano, as perdas por formação de gás foram mais intensas, devido a maior densidade da massa ensilada, levando a modificação nos valores finais de MS e MSc.

O aumento na concentração de PB após a ensilagem é uma característica comumente encontrada quando se trabalha com cana-de-açúcar (PEDROSO et al., 2005, SIQUEIRA et al., 2007a). A elevação da PB ocorreu devido ao consumo de carboidratos solúveis e elevadas taxas de fermentação, além de que a grande parte da proteína presente na cana-de-açúcar estar ligada a porção fibrosa da forragem, aproximadamente 50% (SIQUEIRA et al., 2007b), quando se tem perda de matéria orgânica, esse aumento na concentração fica evidenciado (SOUZA et al., 2008).

Quando há perdas de MS e/ou MO durante o processo de ensilagem, uma característica comumente observada é a concentração da porção fibrosa, principalmente FDN_{cp} e LIG. Após a abertura dos silos, verificou-se elevação nos teores de FDN_{cp} em todas as silagens, resultado possivelmente do consumo de carboidratos solúveis pelos microrganismos. Silagens em que a concentração de MO foram menores, elevou-se a concentração de FDN_{cp}. Resultados similares foram observados por Siqueira et al. (2007b), avaliando o perfil de fermentação da silagem de cana-de-açúcar, observaram elevação de 52,1 para 75,3% no teor de FDN e de 6,9 para 8,1% de lignina.

Diferenças na DIVMS eram esperadas para as silagens de cana-de-açúcar devido às variações nas concentrações de FDN_{cp} e lignina entre os tratamentos, já que a fração FDN da cana-de-açúcar é caracterizada por baixa digestibilidade (OLIVEIRA et al., 2012). Reduções da DIVMS das silagens de cana-de-açúcar podem ser atribuídas ao incremento da FDN, mas esse resultado não foi observado estatisticamente devido aos elevados valores de erro padrão da média (EPM).

O etanol é um dos produtos sintetizados durante o processo de fermentação dos carboidratos solúveis por leveduras. Com isso, silagens que promoveram melhores condições para o crescimento de leveduras foram aquelas que obtiveram

também a maior concentração de etanol. No primeiro ano de avaliação, a silagem T10 foi a que apresentou um maior pico de desenvolvimento de leveduras, resultando em maiores concentrações de etanol. Já no segundo ano de avaliação, as silagens T5 e T20 foram as silagens que obtiveram maiores concentrações finais, devido provavelmente a alta densidade dessas silagens, que proporcionou ambiente mais desejável, com alta disponibilização de carboidratos solúveis.

Não foram encontradas diferenças entre os tamanhos de partículas para o ácido láctico e ácido acético devido à similaridade do crescimento da população de bactérias lácticas, não diferenciadas nesse trabalho em homo e heterofermentativas, sendo as responsáveis pela produção desses ácidos e abaixamento do pH da silagem.

O ácido butírico formado durante a fermentação anaeróbia é produto da atividade dos clostrídios, mas esse ácido também pode ser produzido em quantidades baixas por leveduras e bacilos que estão presentes na silagem (CLAUS E BERKELEY, 1986). Apesar do efeito significativo, as baixas concentrações de ácido butírico (<0,01% da MS) mostra que a silagem de cana-de-açúcar, independente do tamanho de partícula, foi bem conservada e sem crescimento desse microrganismo, já que a sua atividade é indicada quando há presença desse ácido em concentrações maiores ou iguais a 0,3% MS e pH altos (NUSSIO et al., 2002), condições não observadas nesses experimentos.

Durante o período de exposição aeróbia, ocorre crescimento de leveduras devido à presença de oxigênio e carboidratos solúveis residuais ou produtos de fermentação que possam ser utilizados como fonte de energia para esses microrganismos respirarem, com conseqüente aumento do pH. Nesse processo, há elevação da temperatura da silagem e quebra da estabilidade aeróbia (KUNG JR., 2003). Silagens que provém de melhor conservação ou maiores quantidades de produtos sintetizados, como ácido láctico durante o período de anaerobiose, foram as que obtiveram menores tempos para a quebra da estabilidade aeróbia. No primeiro ano de avaliação, os maiores tempos para a quebra da estabilidade deram-se nas silagens em que a fermentação dentro do silo foi mais intensa (T5 e T10). Addah et al. (2014) trabalharam com dois diferentes tamanhos de partículas (10 mm e 20 mm) para a silagem de cevada também concluíram que a silagem com menor tamanho

foi aquela que apresentou maior estabilidade aeróbia, sendo que, com 8 dias de exposição aeróbia, não houve quebra da estabilidade, enquanto, comparado a silagem de maior tamanho de partícula, que, com até 4 dias de exposição, já se observada a quebra da estabilidade ($P < 0,001$).

No segundo ano de avaliação, a estabilidade foi semelhante entre os tratamentos devido à falta de efeito entre os tamanhos de partículas para o crescimento da população de leveduras, sendo esses os microrganismos responsáveis pela elevação da temperatura da massa. Isso também acarretou o aumento similar entre os tamanhos de partículas para o pH ao longo do tempo de exposição. Os maiores tempos para atingir as temperaturas máximas observadas nas silagens T5 e T20 estão associados à menor disponibilidade de carboidratos solúveis residuais para o uso das populações de microrganismos aeróbios, principalmente devido à alta taxa de fermentação dessas silagens dentro do silo (QUEIROZ et al., 2008)

Os valores de ADITE do segundo ano de avaliação corroboram com a definição do mesmo, ou seja, é maior o acúmulo da diferença média entre a temperatura ambiente e a temperatura das silagens nos 12 dias de avaliação quando se tem o aumento tardio dessa variação, caso contrário, os valores de ADITE calculado nos dias anteriores seriam favorecidos, em termos numéricos (QUEIROZ et al., 2008). Os maiores valores de ADITE no dia 4 estão relacionados com as silagens que obtiveram uma menor fermentação durante a fase de anaerobiose, com uma possível maior concentração de carboidratos residuais solúveis no momento da abertura (T10 e T15).

Os valores de ADITE, independente do dia de estimativa, não teve efeito estatístico no primeiro ano de avaliação devido provavelmente ao elevado valor de EPM. Já no segundo ano de avaliação, mas seguiram numericamente os comportamentos relacionadas a fermentação dentro do silo e acúmulo de temperatura.

Conclusões

Pode-se concluir que o tamanho de partícula altera as perdas de matéria seca e composição bromatológica as silagens.

Diferentes tamanhos de partículas influenciam no perfil fermentativo e na composição química da silagem de cana-de-açúcar, mas que esse fator não é o único definidor da qualidade final da silagem, associando-se principalmente a densidade da massa ensilada.

Os valores gerais referentes à estabilidade aeróbia indicam que menores tamanhos de partículas podem resultar em silagens mais estáveis.

Referências

ADDAH, W. BAAH, J.; OKINE, E.K.; OWENS, F.N.; McALLISTER, T.A. Effects of chop-length and a ferulic acid esterase-producing inoculant on fermentation and aerobic stability of barley silage, and growth performance of finishing feedlot steers. **Animal Feed Science and Technology**, v.197, p. 34-46, 2014.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS - AOAC. **Official methods of analysis of the Association of Analytical Chemists**. 15.ed. Arlington: 1990. 1117p.

ÁVILA, C.L.S.; VALERIANO, A.R.; PINTO, J.C.; FIGUEIREDO, H.C.P.; REZENDE, A.V.; SCHWAN, R.F. Chemical and microbiological characteristics of sugar cane silages treated with microbial inoculants. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, n.1, p.25-32, 2010.

BERNARDES, T.F.; REIS, R.A.; SIQUEIRA, G.R. BERCHIELLI, T.T.; COAN, R.M. 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.

CLAUS, D.; BERKELEY, R.C.W.. Genus *Bacillus*. In: SNEATH, P.H.A.; MAIR, N.S.; SHARPE, M.E.; HOLT, J.G. (Ed.) **Bergey's manual of systematic bacteriology**. Baltimore: Willians and Wilkins, p. 1105-1139, 1986.

EVANGELISTA, A.R.; SIQUEIRA, G.R.; LIMA, J.A.; LOPES, J., REZENDE, A.V. Alterações bromatológicas e fermentativas durante o armazenamento de silagens de cana-de-açúcar com e sem milho desintegrado com palha e sabugo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, n.1, p.20-26, 2009.

HAIGH, P.M. Effluent production from grass silages treated with additives and made in large-scale bunker silos. **Grass and Forage Science**, v.54, p.280-218, 1999.

HERRMANN, C.; HEIERMANN, M.; IDLE, C.; PROCHNOW, A. Particle size reduction during harvesting of crop feedstock for biogas production I: Effects on ensiling process and methane yields. **Bioenergy Research**, v.5, p. 926-936, 2012.

JOBIM, C.C., REIS, R.A, SCHOCKEN-ITURRINO, R.P., ROSA, B. Desenvolvimento de microrganismos durante a utilização de silagens de grãos úmidos de milho e de espigas de milho sem brácteas. **Acta Scientiarum**, v 21, n.3, p.671-676, 1999.

KONONOFF, P. J.; HEINRICHS, A. J.; LEHMAN, H. A.. The effect of corn silage particle size on eating behavior, chewing activities, and rumen fermentation in lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.86, p.3343–3353, 2003.

KUNG Jr., L.; GRIEVE, D.B.; THOMAS, J.W.; HUBER, J.T. Added ammonia or microbial inoculant for fermentation and nitrogenous compounds of alfalfa ensiled at various percents of dry matter. **Journal of Dairy Science**, v.67, n.2 p.299-306, 1984.

KUNG Jr., L.; STOKES, M.R.; LIN, C.J. Silage additives. In: BUXTON, D.R.; MUCK, R.E.; HARRISON, J.H. (Ed.) **Silage science and technology**. Madison: American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, 2003, p.251-304.

LICITRA, G.; HERNANDEZ, T.M.; VAN SOEST, P.J. Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. **Animal Feed Science Technology**, v.57, p.347-358, 1996.

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

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

MUCK, R.E.; MOSER, L.E.; PITT, R.E. Postharvest factors affecting ensiling. In: BUXTON, D.R.; MUCK, R.E.; HARRISON, J.H. (Eds). **Silage science and technology**. Madison: American Society of Agronomy, p.251-304, 2003.

MURARO, G.B.; ROSSI Jr., P.; SCHOGOR, A.L.B. Produção de biomassa de cana-de-açúcar em dois espaçamentos e duas frequências de corte. **Ciência e Agrotecnologia**, v.35, n.1, p.131-136, 2011.

NEUMANN, M.; MUHLBACH, P.R.F.; NORBERG, P. OST, P.R.; LUSTOSA, S.B.C. Efeito do tamanho de partícula e da altura de corte de plantas de milho na dinâmica do processo fermentativo da silagem e no período de desensilagem. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.36, n.5, p.1603-1613, 2007a (supl.)

NUSSIO, L.G. Milho e sorgo para produção de silagem. In: PEIXOTO, A.M. (Ed). **Volúmosos para bovinos**. 2.ed. Piracicaba: FEALQ, 1995. p.75-177.

NUSSIO, L.G.; PAZIANI, S.F.; NUSSIO, C.M.B. Ensilagem de capins tropicais. In: Anais de palestras – XXXIX Reunião Anual da SBZ, Recife-PE, 2002, **Anais...** Recife, p.60-99, 2002.

OLIVEIRA, M.D.S.; RÊGO, A.C.; SFORCINI, M.P.R.; FREITAS JÚNIOR, J.E.; SANTOS, J.; CARVALHO, M.V. Bromatological characteristics and in vitro digestibility of four sugarcane varieties subjected or not to the application of quicklime. **Acta Scientiarum**, v.34, n.4, p.355-361, 2012.

PEDROSO, A.F.; NUSSIO, L.G.; PAZIANI, S.F.; LOURES, D.R.S.; IGARASI, M.S.; COELHO, R.M.; PACKER, I.H.; HORII, J.; GOMES, L.H. Fermentation and epiphytic microflora dynamics in sugar cane silage. **Scientia Agricola**, v.62, n.5, p.427-432, 2005.

PEDROSO, A.F.; NUSSIO, L.G.; LOURES, D.R.S.; PAZIANI, S.F.; IGARASI, M.S.; COELHO, R.M.; HORII, J.; RODRIGUES, A.A. Efeito do tratamento com aditivos químicos e inoculantes bacterianos nas perdas e na qualidade de silagens de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.36, n.3, p.558-564, 2007.

PRYCE, J. D. A modification of the Barker-Summerson method for the determination of lactic acid. **Analist**, v.94, p. 1151-1152, 1969.

QUEIROZ, O.C.M., NUSSIO, L.G.; SCHMIDT, P.; RIBEIRO, J.L. SANTOS, M.C.; ZOPOLLATTO, M. Silagem de cana-de-açúcar comparada a fontes tradicionais de volumosos suplementares no desempenho de vacas de alta produção. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, n.2, 2008.

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

ROTZ, C.A. MUCK, R.E. Changes in forage quality during harvest and storage. In: FAHEY JR., G.C. Forage quality, evaluation, and utilization. Madison. American Society of Agronomy. p. 828-868. 1994.

SCHMIDT, P. Improved efficiency of sugarcane ensiling for ruminant supplementation. In: NUSSIO, L.G. (Eds) **I International Symposium on Forage Quality and Conservation**. São Pedro:FEALQ. 2009.

SILVA, J. S.; QUEIROZ, A. C. **Análise de Alimentos: métodos químicos e biológicos**. 3.ed. – Viçosa: UFV, 2002.

SIQUEIRA, G.R.; REIS, R.A.; SCHOCKEN-ITURRINO, R.P. et al. Perdas de silagens de cana-de-açúcar tratadas com aditivos químicos e bacterianos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.36, n.6, p.2000-2009, 2007a (suplemento).

SIQUEIRA, G.R.; REIS, R.A.; SCHOCKEN-ITURRINO, R.P.; BERNARDES, T.F.; PIRES, A.J.V.; ROTH, M.T.P.; ROTH, A.P.P. Associação entre aditivos químicos e

bacterianos na ensilagem de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.36, n.4, p.789-798, 2007b.

SOUSA, D.P.; MATTOS, W.R.S.; NUSSIO, L.G., MARI, L.J.; RIBEIRO, R.L.; SANTOS, M.C. Efeito de aditivo químico e inoculantes microbianos na fermentação e no controle da produção de álcool em silagens de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, n.9, p.1564-1572, 2008.

TAVARES, V.B.; PINTO, J.C.; EVANGELISTA, A.R.; FIGUEIREDO, C.P.; ÁVILA, C.L.S.; LIMA, R.F. Efeitos da compactação, da inclusão de aditivo absorvente e do emurhecimento na composição bromatológica de silagens de capim-tanzânia. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, n.1, p.40-49, 2009.

VAN SOEST, P.J., ROBERTSON, J.B.. Analysis of forages and fibrous foods, Cornell University, Ithaca, USA. 202 p, 1985.

WEISSBACH, F. Correction of dry matter content of silages used as substrate for biogas production. In: BRODERICK, G.A.; ADESOGAN, A.A.T.; BOCHER, L.W.; BOLSEN, K.K.; CONTRERAS-GOVEA, F.E.; HARRISON, J.H.; MUCK, R.E. (Ed.). INTERNATIONAL SILAGE CONFERENCE, 15, 2009. Madison, **Proceedings...** Madison-Wi, p.483-484, 2009.

WOOLFORD, M.K. **The silage fermentation**. New York: Marcel Dekker, 1984. 322p.

CAPÍTULO 3 – Silagem de cana-de-açúcar com diferentes tamanhos de partículas como fonte de fibra fisicamente efetiva em dietas de bovinos de corte

Resumo – objetivou-se avaliar o efeito das silagens de cana-de-açúcar com diferentes tamanhos médios de partículas (TMP) como fonte de fibra fisicamente efetiva em dietas para bovinos de corte nas características de desempenho animal, comportamento ingestivo e parâmetros ruminais. As dietas foram constituídas de 33% de silagem de cana-de-açúcar e 67% de concentrado, na base da matéria seca, diferenciando apenas pelos TMP do volumoso, de T5: silagem de cana-de-açúcar picada a 5 mm; T10: silagem de cana-de-açúcar picada a 10 mm; T15: silagem de cana-de-açúcar picada a 15 mm e T20: silagem de cana-de-açúcar picada a 20 mm. Na avaliação do consumo, comportamento ingestivo, índice de seleção e desempenho produtivo utilizou-se 40 bovinos da raça Nelore, não castrados, com peso médio inicial de 395 kg, distribuídos em um delineamento de blocos casualizado, com quatro tratamentos e 10 repetições. Para avaliar a digestibilidade total dos nutrientes, os parâmetros ruminais e a taxa de passagem foram utilizados 8 bovinos Nelore, adultos não castrados, fistulados no rúmen foram distribuídos em dois Quadrados Latinos 4x4. Os consumos de MS, MO, PB, EE e CNF diferiram entre as dietas avaliadas ($P < 0,10$), com efeito quadrático, sendo T10 aquela que apresentou menores valores. Os consumos de FDN e FDNfe_{1,18} não alteraram-se entre as dietas, obtendo médias de 3,82 e 2,59 kg.dia⁻¹, respectivamente. Os consumos dos estratos das partículas foram afetados pelas dietas ($P < 0,10$), com exceção do consumo de partículas menores que 1,18 mm, que foi igualado entre as dietas ($P = 0,276$). Não houve diferenças estatísticas para os coeficientes de digestibilidade da MS e FDN. Houve efeito linear para as variáveis avaliadas do índice de seleção, sendo que para as peneiras com abertura de 19 e 8 mm houve efeito linear decrescente e para aquelas com 1,18 mm e fundo sem aberturas o comportamento foi o inverso, onde dietas com tamanhos de partículas maiores levam ao consumo preferencial de porções de tamanhos menores. Com isso, observou efeito significativo para a composição das sobras para PB, FDN e FDNfe_{1,18}. Dietas com maiores tamanhos de partículas levaram ao aumento do

tempo desprendido com a ingestão de MS, a ruminação, mastigação e ócio ($P < 0,10$). O desempenho produtivo não foi alterado pelas dietas, com média de $1,490 \text{ kg.dia}^{-1}$ ($P > 0,10$). Os parâmetros ruminais foram afetados pelos diferentes tamanhos de partículas ($P < 0,10$), com efeito linear crescente de pH, linear decrescente para ácido butírico e os AGCC totais e efeito quadrático para o ácido propiônico. A concentração de amônia ruminal e ácido acético não foram afetados pelos tratamentos ($P > 0,10$). Houve interação significativa de tratamento e horário de colheita para a relação entre o ácido acético e ácido propiônico. A taxa de passagem (kp) alterou-se com os tratamentos ($P = 0,06$), onde as dietas T10 e T15 foram as que apresentaram menores valores. Recomenda-se o uso de silagem de cana-de-açúcar com tamanhos menores ou iguais a 11 mm, pois diminuem a seleção de partículas pelos animais.

Palavras-chave: comportamento ingestivo, fator de efetividade física, índice de seleção, pH ruminal, taxa de passagem

CHAPTER 3 – Sugarcane silage with different particle sizes as physically effective fiber source of beef cattle diets

ABSTRACT – this study was conducted to evaluate the effect of sugarcane silage with different average particle sizes (TMP) as physically effective fiber source in beef cattle diets on productive performance, feeding behavior and ruminal parameters. Diets contained 33% of sugarcane silage and 67% of concentrate, on dry matter basis, differing only by silage particle sizes. The treatments were: T5: sugarcane silage chopped to 5 mm; T10: sugarcane silage chopped to 10 mm; T15: sugarcane silage chopped to 15 mm and T20: sugarcane silage chopped to 20 mm. For evaluate of nutrients intake, feeding behavior, selection index and productive performance, were used 40 Nellore young bulls, not castrated, with initial body weight of 395 ± 23 kg, distributed in a randomized blocks design, with four treatments and 10 repetitions. Were used 8 Nellore, adults do not castrated, with rumen cannula were divided into two 4x4 Latin Square for evaluate the nutrients total digestibility, ruminal parameters and rate of passage. The intakes of dry matter (DM), organic matter (OM), crude protein (CP), ether extract (EE) and non-fibrous carbohydrate (NFC) were lower in the T10 diet ($P < 0.10$), adjusting to quadratic model. There were not effects ($P > 0.10$) to intakes of neutral detergent fiber (NDF) and physically effective NDF (peNDF), averaging 3.82 and 2.59 kg.dia⁻¹, respectively. The particles stratum intakes were affected by diets ($P < 0.10$), except for the intake of particles smaller than 1.18 mm, which was equated between diets ($P = 0.276$). There were not statistical differences to digestibility of DM and NDF. There was linear effect for selection index ($P < 0.10$). The selection index to of 19 and 8 mm linearly decreased with increasing diet particle size and for sieves with apertures of 1.18 mm and bottom without opening the behavior was the opposite, where diets with larger particles sizes led to preferential selection of smaller diet particle sizes. There were not significant effects on the orts composition for CP, NDF and peNDF. Diets with larger particle sizes increased times of DM intake, rumination, chewing and idle ($P < 0.10$). The productive performance was not affected by the diets, averaging 1,490 kg.dia⁻¹ ($P > 0.10$). The rumen pH linearly increased with increasing of diet different particle size ($P < 0.10$). The butyric acid and total VFA linearly decreased with increasing of

diet different particle size ($P < 0.10$). The rumen ammonia and acetic acid were not affected by treatments ($P > 0.10$). There was significant interaction of treatment and collection time ($P = 0.034$) for acetate: propionate rate. The passage rate (kp) altered with the treatments ($P = 0.055$), where the T10 and T15 diets showed the lowest values. It is recommended the particle size to sugarcane silage equal or smaller than 11 mm, because decrease the particles selection by animals.

Keywords: feeding behavior, physical effectiveness factor, ensilage, selection index, rumen pH, passage rate

Introdução

Como estratégia para controlar possíveis problemas ruminais e alcançar altas taxas de ganho de peso, a inclusão de alimentos volumosos como fonte de fibra fisicamente efetiva é recomendada (ARMENTANO e PEREIRA, 1997; SANTOS, 2013). Esse conceito aplicado às dietas objetiva aumentar o tempo de mastigação e assim, a produção de saliva, a formação de camada de fibra longa no rúmen, assim como estimular a motilidade do trato gastrointestinal. Sabe-se que apenas a concentração da fibra total da dieta não é um parâmetro eficiente para garantir esses resultados. Fatores como a qualidade do volumoso e, principalmente, o tamanho de partícula adequado são os parâmetros mais eficazes para garantir tanto a fermentação dentro do silo quanto parâmetros ruminais adequados às condições de crescimento microbiano, degradação da dieta e síntese de ácidos ruminais essenciais para a obtenção de desempenho produtivo adequado.

No Brasil, a inclusão do bagaço de cana-de-açúcar como agente de efetividade foi muito explorado, mas seu uso como cogenerador de energia elétrica, com conseqüente aumento dos preços no comércio (GUIMARÃES et al., 2012), tornou seu uso limitado na alimentação animal. Com isso, o uso da cana-de-açúcar como fonte de volumoso e de fibra efetiva torna-se oportuno, devido à sua alta produção de massa seca/ha. A sua utilização na alimentação animal deu-se primeiramente com o manejo de corte diário, mas a falta de logística resultou no uso da ensilagem como forma de conservação dessa forragem (SIQUEIRA et al., 2014).

Sabe-se que o tamanho de partícula pode interferir tanto na fermentação dentro do silo quanto na resposta animal. Diferenciação nos tamanhos de partículas das dietas pode influenciar diretamente nas perdas de MS dentro do silo, além do consumo dos nutrientes, comportamento ingestivo e seleção de partículas da dieta pelos animais (KONONOFF et al., 2003b; LEONARDI e ARMENTANO, 2003)

No presente trabalho objetivou-se avaliar o efeito das silagens de cana-de-açúcar com diferentes tamanhos de partículas como fonte de fibra efetiva em dietas para bovinos de corte nas características de desempenho animal, comportamento ingestivo e parâmetros ruminais.

Material e métodos

A pesquisa foi aprovada pela Comissão de Ética no Uso dos Animais (CEUA) da Universidade Estadual Paulista – Campus Jaboticabal, por estar de acordo com os Princípios Éticos na Experimentação Animal, adotado pelo Colégio Brasileiro de Experimentação (COBEA).

Localização e condições climáticas

Os experimentos foram desenvolvidos no Polo Regional de Desenvolvimento dos Agronegócios Alta Mogiana, unidade pertencente à Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA), situado na cidade de Colina – SP, que possui latitude de 20°43'05" S, longitude 48°32'38" W e altitude de 615 metros. Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo AW, clima tropical com inverno seco e verão chuvoso.

Ensilagem da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) utilizada foi a variedade RB86-7515, produzida nesse mesmo Polo Regional, em seu terceiro ano de corte, com espaçamento de 1,30 metros entre linhas e com 11 meses de rebrota.

A colheita foi realizada em setembro de 2011, quando apresentava produção de 125 t de forragem fresca/ha, sendo 862,6 g.kg⁻¹ de colmo, 83,3 g.kg⁻¹ de folhas mortas e 21,7° BRIX. Utilizou-se a ensiladora modelo JF Z-6, que propiciava a diferenciação dos tamanhos de partícula devido a combinação de pares de engrenagens. Os tratamentos consistiram em diferentes tamanhos de partículas no processo de ensilagem, idealizados inicialmente sendo: T5: cana-de-açúcar picada a 5 mm; T10: cana-de-açúcar picada a 10 mm; T15: cana-de-açúcar picada a 15 mm e T20: cana-de-açúcar picada a 20 mm.

Foram elaborados quatro silos tipo superfície, sendo um para cada silagem descrita, com a capacidade de 35 toneladas de massa verde. Os silos foram vedados com filme de polietileno 200 µm (branco e preto) e, em suas bordas foram

colocados sacos plásticos com terra para auxiliar na vedação. Além disso, uma camada de 0,10 m de espessura de terra foi adicionada a superfície do filme plástico para manter o filme em justaposição à massa ensilada e protegê-lo contra radiação solar.

Após 191 dias de ensilagem, os silos foram abertos e as silagens foram retiradas a uma taxa de aproximadamente 10 cm.dia^{-1} para o fornecimento aos animais. Amostras de todas as silagens foram coletadas semanalmente e analisadas para a obtenção da matéria seca (MS), matéria mineral (MO), nitrogênio total (NT), extrato etéreo (EE) segundo AOAC (1990). O teor de fibra em detergente neutro (FDN) foi obtido segundo metodologia de Mertens (2002) e, sequencialmente, obteve-se a fibra em detergente ácido (FDA) segundo as técnicas descritas por Robertson e Van Soest (1981). A determinação da celulose foi realizada pelo método do ácido sulfúrico 72% (p/p) descrito por Van Soest e Robertson (1985) e a lignina foi determinada pela diferença entre os teores de FDA e celulose (Tabela 1).

Os carboidratos não fibrosos (CNF) foram calculados como proposto por Hall (2000): $\text{CNF} = 100 - [(\% \text{PB} - \% \text{PB derivada da ureia} + \% \text{ de ureia}) + \% \text{FDN} + \% \text{EE} + \% \text{ cinzas}]$.

O teor de matéria seca em estufa à 55°C foi corrigido para produtos voláteis de acordo com equação de Weissbach (2009): $\text{MS corrigida (\%MV)} = \text{MS estufa (\%MV)} + 0,08 \times \text{ácido láctico (\%MV)} + 0,95 \times \text{ácidos graxos de cadeia curta* (\%MV)} + \text{etanol (\%MV)}$. Os ácidos graxos de cadeia curta* incluem: ácido acético + ácido propiônico + ácido butírico.

Os teores de ácidos graxos de cadeia curta (AGCC) e etanol foram determinados em cromatógrafo gasoso com detector de massas (Focus GC, Shimadzu Corporation, Kyoto, Japão). A aparelho foi estabilizado com o nitrogênio como gás de arraste, na vazão de 25 mL.min^{-1} . O oxigênio foi utilizado como gás comburente, na vazão de 270 mL.min^{-1} e o hidrogênio, como gás combustível, na vazão de 30 mL.min^{-1} . As temperaturas de trabalho foram: do injetor, a 220°C , do detector de ionização de chama, a 250°C e da coluna a 150°C inicial, mantendo-se assim por 2 minutos e, em seguida, utilizou-se uma rampa de aumento de 10°C por minutos até atingir 210°C . O ácido láctico foi determinado por colorimetria, segundo metodologia de Pryce (1969).

Tabela 1. Composição bromatológica e características fermentativas das silagens de cana-de-açúcar com diferentes tamanhos de partículas

Item ¹	Tamanhos de partículas (mm)			
	T5	T10	T15	T20
<i>Composição bromatológica</i>				
MS (g.kg ⁻¹)	288	230	258	299
MSc (g.kg ⁻¹)	335	316	324	342
MO (g.kg ⁻¹ MS)	975	974	974	970
PB (g.kg ⁻¹ MS)	26,0	26,1	26,4	27,9
EE (g.kg ⁻¹ MS)	12,6	11,1	11,3	10,9
CNF (g.kg ⁻¹ MS)	262	195	218	222
FDN (g.kg ⁻¹ MS)	675	742	718	709
FDNi (g.kg ⁻¹ MS)	416	435	427	420
FDA (g.kg ⁻¹ MS)	309	345	334	317
FDAi (g.kg ⁻¹ MS)	274	292	291	286
Hemicelulose (g.kg ⁻¹ MS)	366	397	385	382
Celulose (g.kg ⁻¹ MS)	304	322	319	312
Lignina (g.kg ⁻¹ MS)	61,1	75,3	65,5	69,5
<i>Características fermentativas</i>				
pH	3,64	3,77	3,68	3,71
Etanol (g.kg ⁻¹ MS)	56,4	131	116	91,8
Ácido acético (g.kg ⁻¹ MS)	39,9	76,2	46,7	32,0
Ácido propiônico (g.kg ⁻¹ MS)	1,26	1,92	1,01	0,99
Ácido butírico (g.kg ⁻¹ MS)	0,258	0,287	0,241	0,230
Ácido láctico (g.kg ⁻¹ MS)	10,9	28,3	17,5	14,8

*T5: dieta com silagem de cana-de-açúcar picada a 6,4 mm; T10: dieta com silagem de cana-de-açúcar picada a 11,0 mm; T15: dieta com silagem de cana-de-açúcar picada a 13,5 mm; T20: dieta com silagem de cana-de-açúcar picada a 16,0 mm. ¹MS: matéria seca; MSc: Matéria seca corrigida conforme equação de Weissbach, (2009); MO: matéria orgânica; PB: proteína bruta; EE: extrato etéreo; CNF: carboidratos não fibrosos; FDN: fibra em detergente neutro; FDA: fibra em detergente ácido, FDNi: fibra em detergente neutro indigestível em 288 horas de incubação ruminal; FDAi: fibra em detergente ácido indigestível em 288 horas de incubação ruminal.

Determinação dos tamanhos médios das partículas

No momento da confecção dos silos, três amostras de cada tamanho de partícula foram colhidas para a determinação do tamanho médio de partículas real (TMP). O TMP foi obtido pelo método de estratificação de partículas em peneiras utilizando o modelo *Penn State Particle Size Separator – PSPSS*, descrito por Kononoff et al. (2003a), que distribuiu as partículas em quatro diferentes faixas de tamanho de < 1,18 mm, 1,18 a 8 mm, 8 a 19 mm e >19 mm. Considerou-se que as partículas das amostras possuíam distribuição normal e a média geométrica foi calculada conforme descrito pelo ASAE Standard (2001).

A determinação do TMP também foi realizada nas rações experimentais e nas sobras, caracterizando a forragem ofertada e consumida pelos animais em cada período.

Animais e dietas experimentais

Todas as dietas foram formuladas para permitirem ganhos de 1,50 kg dia⁻¹ (NRC, 1996). As dietas consistiram em 33% das respectivas silagens de cana-de-açúcar, 32,8% de milho moído, 20,3% de polpa cítrica, 10,5% de farelo de amendoim (460 g kg⁻¹ de PB), 0,8% de ureia e 2,6% de núcleo de confinamento (685 g kg⁻¹ de NNP, 160 g kg⁻¹ de Ca, 62 g kg⁻¹ de Na, 27 g kg⁻¹ de S, 14,7 g kg⁻¹ de P, 611 mg kg⁻¹ de Zn, 190 mg kg⁻¹ de Mn, 185 mg kg⁻¹ de Fe, 185 mg kg⁻¹ de Cu, 111 mg kg⁻¹ de F, 24 mg kg⁻¹ de Co, 18 mg kg⁻¹ de I, 3 mg kg⁻¹ de Se), com base na MS.

As composições bromatológicas e a distribuição dos tamanhos médios de partículas das dietas experimentais estão apresentadas na Tabela 2. A concentração de FDN fisicamente efetiva (FDNfe_{1,18}) foi calculada como FDNfe_{1,18} = FDN*fef_{1,18}, onde fef_{1,18} é o fator de efetividade física da amostra, sendo determinada como o somatório das proporções de MS retida nas peneiras com aberturas superiores a 1,18 mm (MERTENS, 1997).

Tabela 2. Composição bromatológica e distribuição dos tamanhos médios de partículas das dietas experimentais contendo silagens de cana-de-açúcar com diferentes tamanhos de partículas

Item ¹	Tamanhos de partículas			
	T5	T10	T15	T20
<i>Composição bromatológica</i>				
MS (g.kg ⁻¹)	738,4	732,3	734,8	740,7
MO (g.kg ⁻¹ MS)	946,8	946,2	946,3	944,9
PB (g.kg ⁻¹ MS)	156,3	156,3	156,4	156,9
EE (g.kg ⁻¹ MS)	22,3	21,8	21,9	21,8
CNF (g.kg ⁻¹ MS)	393,1	371,1	378,7	380,2
FDN (g.kg ⁻¹ MS)	389,6	411,8	404,0	400,8
FDNfe _{1,18} (g.kg ⁻¹ MS)	233,0	246,3	241,6	239,7
FDA (g.kg ⁻¹ MS)	210,5	222,4	218,6	213,1
Hemicelulose (g.kg ⁻¹ MS)	179,1	189,5	185,4	184,4
Celulose (g.kg ⁻¹ MS)	147,9	153,6	152,8	150,5
Lignina (g.kg ⁻¹ MS)	31,2	35,8	32,6	33,9
<i>Distribuição dos tamanhos médios de partículas (g.kg⁻¹ MN)</i>				
> 19,0 mm	55,1	57,7	101,7	120,0
19,0 a 8,0 mm	188,1	200,3	197,2	220,0
8,0 a 1,18 mm	356,1	340,7	301,7	260,5
< 1,18 mm	400,7	401,3	399,4	399,5

*T5: dieta com silagem de cana-de-açúcar picada a 6,4 mm; T10: dieta com silagem de cana-de-açúcar picada a 11,0 mm; T15: dieta com silagem de cana-de-açúcar picada a 13,5 mm; T20: dieta com silagem de cana-de-açúcar picada a 16,0 mm. ¹MS: Matéria seca; MO: matéria orgânica; PB: proteína bruta; EE: extrato etéreo; CNF: carboidratos não fibrosos; FDN: fibra em detergente neutro; FDNfe_{1,18}: fibra em detergente neutro fisicamente efetiva; FDA: fibra em detergente ácido.

Todos os animais foram alojados em galpão semicoberto com baias individuais de 10 m² cada, com piso de concreto, além de comedouros e bebedouros individuais. Para a avaliação do consumo, comportamento ingestivo, índice de seleção e desempenho produtivo, foram utilizados 40 bovinos da raça Nelore, não castrados, com peso médio inicial de 395 ± 32 kg e idade média de 20 meses, distribuídos em um delineamento de blocos casualizado, com 4 tratamentos e 10

repetições. O período experimental consistiu de 99 dias de confinamento, sendo 15 dias o período de adaptação e três períodos de 28 dias.

Na avaliação dos parâmetros ruminais, digestibilidade aparente dos nutrientes e taxa de passagem, foram utilizados oito bovinos Nelore, adultos não castrados, fistulados no rúmen, distribuídos em dois Quadrados Latinos 4x4. Cada período experimental teve a duração de 22 dias, sendo 10 para adaptação dos animais às dietas e 12 de coletas, após 15 dias de adaptação inicial, totalizando 103 dias totais.

As dietas foram fornecidas duas vezes ao dia, às 8 e as 15 horas. Durante o período de adaptação, iniciou-se o fornecimento de ração em 1,5% do peso vivo. A cada 3 dias, esse valor elevou-se em 0,3% até a estabilização do consumo, permitindo 5% de sobras diárias.

Consumo de nutrientes (n=40)

Na avaliação do consumo dos nutrientes foram realizadas coletas de alimentos fornecidos, além das sobras. Essas amostras foram congeladas em freezer para a formação de uma amostra composta por animal e por período. No final de cada período, as amostras foram descongeladas e pré-secas em estufa de ventilação forçada a 55 °C, processadas em moinho de faca tipo “Willey” com peneira de malha de 1 mm para realização das análises bromatológicas de matéria seca (MS), matéria orgânica (MO), nitrogênio total (NT), extrato etéreo (EE) segundo AOAC (1990). Os teores de fibra em detergente neutro (FDN) foram obtidos segundo metodologia de Mertens (2002b), utilizando-se α -amilase termo-estável, omitindo o uso de sulfito de sódio.

O teor de FDN fisicamente efetiva (FDN_{fe1,18}) foi calculada segundo metodologia descrita por Mertens (1997). Os carboidratos não fibrosos (CNF) foram calculados como proposto por Hall (2000): $CNF = 100 - [(\%PB - \%PB \text{ derivada da ureia} + \% \text{ de ureia}) + \%FDN + \%EE + \% \text{ cinzas}]$.

A cada semana, foram coletadas amostras da dieta completa de cada tratamento e sobras de cada animal para que fosse calculado o consumo de cada estrato de partículas, utilizando o Penn State Particle Size Separator – PSPSS, descrito por Kononoff et al. (2003a).

Digestibilidade aparente dos nutrientes (n=8)

Na obtenção dos valores das digestibilidades aparentes no trato total, tanto da MS quanto da FDN, foram realizadas coletas de, aproximadamente, 200 gramas de fezes durante cinco dias consecutivos, a cada 22 horas, além de alimentos fornecidos e sobras. Essas amostras foram congeladas em freezer e pré-secas em estufa de ventilação forçada a 55 °C por 72 horas, de forma a compor uma amostra única de cada animal, em cada período. Após a secagem, estas foram moídas em moinho de facas tipo “Willey” com peneira de malha de 1 mm e analisadas para MS e FDN, segundo as metodologias já descritas.

As amostras de alimentos fornecidos, sobras e fezes referentes ao período de coleta para estimativa da digestibilidade foram incubadas no rúmen de animais fistulados em sacos TNT, por 288 horas, e em seguida submetidas à lavagem com detergente neutro para a estimativa da FDN_i, utilizado como indicador de produção fecal, segundo metodologia descrita por Valente et al. (2011). A produção de matéria seca fecal (MSF) foi calculada como: $MSF \text{ (kg/dia)} = g \text{ de indicador ingerido} / \% \text{ do indicador nas fezes}$.

O coeficiente de digestibilidade aparente total dos nutrientes (CDN) foi estimado pela equação: $CDN \text{ (\%)} = [(MS \text{ ingerida} \times \% \text{ Nutriente}) - (MS \text{ excretada} \times \% \text{ Nutriente})] / (MS \text{ ingerida} \times \% \text{ Nutriente}) \times 100$.

Taxa de passagem e tempo de retenção ruminal (n=8)

A taxa de passagem de partículas pelo rúmen foi determinada utilizando-se como marcador o cromo-mordente fixado à parede celular do volumoso, de acordo com Úden et al. (1980), sendo a fonte de cromo o dicromato de sódio. A fibra mordantada de cada silagem foi infundida diretamente no rúmen, via fístula ruminal, na quantidade de 100 g por animal, referente a dieta que foi fornecida. Após a infusão, foram realizadas coletas de fezes nos horários de 0 (antes do indicador), 6, 12, 18, 24, 36, 48, 72, 96, 120 e 144 horas. As amostras de fezes foram secas e analisadas quanto ao teor de MS (AOAC, 1990) e cromo (WILLIAMS et al., 1962).

Os teores de cromo foram determinados em espectrofotômetro de absorção atômica, chama de óxido nitroso/acetileno, com comprimento de onda de 398,8 e abertura de fenda de 0,2 nm (HUHTANEN e KUKKONEN, 1995).

O parâmetro da taxa de passagem (kp) foi estimado por intermédio do ajustamento da inclinação da relação entre tempo de amostragens e concentração de cromo excretado nas fezes. O tempo de retenção (TRR) foi calculado como:

$$\text{TRR: } 1/\text{kp}$$

Índice de seleção e composição bromatológica das sobras (n=40)

A estratificação das partículas foi realizada pelo método *Penn State Particle Size Separator – PSPSS*, onde houve a estratificação das amostras compostas de dietas fornecidas e das sobras dos animais, uma vez por período. O cálculo do índice de seleção foi realizado segundo a metodologia descrita por Leonardi e Armentano (2003) como o consumo efetuado pelos animais correspondente a cada peneira (P1 a P4) expresso pela porcentagem do consumo total predito, sendo P1: peneira com abertura de 19 mm; P2: peneira com abertura de 8 mm, P3: peneira com abertura de 1,18 mm e P4: fundo sem abertura. O consumo predito da fração Px é igual ao quociente entre a matéria original ingerida e a matéria original da fração da Px da ração total (RT), sendo que valores de IS menores que 100% indicaram rejeição do alimento, maiores que 100% consumo preferencial e igual a 100% quando não houve seleção, de acordo com as seguintes equações:

$$\text{Consumo predito} = \% \text{ retenção de Px oferecido} * \text{consumido}$$

$$\text{Consumo observado} = (\% \text{ retenção de Px} * \text{oferecido}) - (\text{retenção de Px} * \text{sobras})$$

$$\text{Índice de Seleção (IS)} = (\text{consumo observado} / \text{consumo predito}) * 100$$

Comportamento ingestivo e fator de efetividade física real (n=40)

O comportamento ingestivo dos animais foi avaliado durante o segundo período experimental. Os animais foram observados durante 72 horas, com observações feitas a cada dez minutos. Foram determinados os tempos gastos com ingestão, ruminação e ócio, sendo este a somatória do tempo em que os animais

permaneceram em descanso ou ingerindo água. O tempo total despendido em cada atividade foi calculado, multiplicando-se o número total de observações por dez. A atividade de mastigação foi calculada pelo somatório das atividades de ingestão e ruminação, conforme Armentano e Pereira (1997).

O fator de efetividade real (fef real) foi calculado segundo metodologia descrita por Goulart (2010). Considerou-se o valor de fef de 1,2 para o TMP T10, pois esse é considerado o tamanho normalmente utilizado em silagens de cana-de-açúcar. Foi utilizada a taxa basal de mastigação, estimada como se a dieta tivesse 0% de FDNfe, o valor de 224 min.dia⁻¹.

Desempenho produtivo (n=40)

Para a determinação do desempenho produtivo, todos os animais foram pesados no início e no final do período experimental com jejum prévio de sólidos e líquido de 16 horas, e abatidos em frigorífico comercial, onde foram obtidos: peso final, ganho médio diário, rendimento de carcaça, área de olho de lombo e espessura de gordura medidas no músculo *Longissimus* na altura da 12^a costela, pH final das carcaças, peso do fígado e o somatório das gorduras renal, pélvica e inguinal.

Parâmetros ruminais (n=8)

Para a determinação dos parâmetros ruminais como pH, concentrações de N-NH₃ e de ácidos graxos de cadeia curta, foram coletados 500 mL de líquido ruminal de cada animal nos seguintes tempos: no momento da alimentação matinal (0), 4, 8, 12 e 24 horas após o fornecimento da dieta da manhã. O valor de pH foi obtido imediatamente após a colheita, com o auxílio de um peagâmetro digital. O restante da amostra foi dividido em dois potes plásticos, sendo um para análise de nitrogênio amoniacal, realizada pelo método colorimétrico descrito por Chaney e Marbach (1962) e o outro, para ácidos graxos de cadeia curta, realizada em cromatógrafo gasoso (GC 2014, Shimadzu Corporation, Kyoto, Japão), utilizando a coluna capilar

HP-INNOWax (30 m × 0.32 mm; Agilent Technologies, Colorado, USA) com uma temperatura inicial de 80 °C e final, de 240 °C.

Análises estatísticas

O consumo dos nutrientes, o comportamento ingestivo, o índice de seleção e o desempenho produtivo foram analisados utilizando o delineamento em blocos casualizado, com 4 tratamentos e 10 blocos, sendo os blocos definidos de acordo com os pesos iniciais dos animais e considerado efeito aleatório, segundo o modelo $Y_{ij} = \mu + P_i + B_j + e_{ij}$, em que μ = média geral; P_i = efeito de tratamento ($i = T5, T10, T15, T20$); B_j = efeito do bloco ($j = 1$ a 10); e_{ij} = erro experimental. Para as análises da digestibilidade aparente total, taxa de passagem e tempo de retenção utilizou-se o delineamento Quadrado Latino 4x4 duplo, cujo modelo foi: $Y_{ijkl} = \mu + Q_i + A_j(i) + P_{Ek} + P_l + e_{ijkl}$. Em que μ = média geral; Q_i = efeito de quadrado ($i = 1$ a 2); $A_j(i)$ = efeito de animal aninhada em quadrado ($j = 1$ a 8); P_{Ek} = efeito de período ($k = 1$ a 4); P_l = efeito de tratamento ($l = T5, T10, T15, T20$); e_{ijkl} = erro experimental. Os parâmetros ruminais foram analisados em um delineamento em Quadrado Latino 4x4 duplo, com medidas repetidas no tempo, cujo modelo segue o acima referido para esse delineamento, com a inclusão dos efeitos de tempo de coleta (0, 4, 8, 12 e 24 horas) e a interação entre tempo e tratamento. As matrizes TOEP2 (Toeplitz) e FA1 (Factor Analytic first order) foram as melhores estruturas de covariância ajustadas para os dados, devido as suas menores pontuações, segundo o critério BIC. As diferenças entre estes valores foram determinados utilizando o teste Fisher-F. Todos os resultados foram submetidos à análise de variância usando o procedimento MIXED do programa estatístico do SAS 9.0 e, se significativo, foram avaliados por meio de contrastes ortogonais para determinação do tipo de comportamento (linear e/ou quadrático). Como os valores dos tamanhos de partículas não foram equidistantes, os coeficientes das matrizes dos contrastes ortogonais foram determinados pelo procedimento IML, com 3 graus de liberdade para tratamento. A significância foi declarada quando $P < 0,10$.

Resultados

Os valores médios de tamanhos de partículas das silagens, obtidos pelo método da estratificação, foram: 6,4 mm para o tratamento 1 (T5), 11,0 mm para o tratamento 2 (T10); 13,5 mm para o tratamento 3 (T15) e 16,0 mm para o tratamento 4 (T20), e 1,5 mm para o concentrado.

Consumo e digestibilidade aparente total dos nutrientes

Os consumos de MS, MO, PB, EE e CNF, em kg dia⁻¹, diferiram entre as dietas avaliadas ($P < 0,10$), com efeito quadrático, sendo T10 aquela que apresentou menores valores. As únicas variáveis de consumo que não foram afetadas pelos tratamentos foram a FDN e a FDNfe_{1,18} ($P > 0,10$) obtendo médias de 3,82 e 2,59 kg.dia⁻¹. O consumo da FDN, em % de PV (peso vivo) também não foi alterado entre os tratamentos, com média de 0,82% PV.

Os consumos de todos os estratos com diferentes tamanhos de partícula diferiram entre as dietas ($P < 0,10$), com exceção apenas do consumo de partículas menores do que 1,18 mm, em que não foi observado efeito significativo ($P = 0,276$).

Não houve diferenças estatísticas para os coeficientes de digestibilidade da MS e FDN (Tabela 3).

Tabela 3 – Consumo e digestibilidade aparente dos nutrientes de bovinos de corte alimentados com silagem de cana-de-açúcar com diferentes tamanhos de partículas

Item ¹	Tamanhos de partículas				EPM ²	Valor P	Efeitos ³	
	T5	T10	T15	T20			L	Q
<i>Consumo dos nutrientes (kg.dia⁻¹)</i>								
MS	10,79	9,91	10,24	10,40	0,28	0,067	0,220	0,025
MO	10,20	9,39	9,67	9,81	0,27	0,080	0,195	0,034
PB	1,84	1,69	1,74	1,78	0,05	0,040	0,188	0,012
EE	0,25	0,23	0,24	0,24	0,01	0,026	0,083	0,017
FDN	3,87	3,78	3,81	3,83	0,11	0,913	0,803	0,545
FDNfe _{1,18}	2,61	2,59	2,59	2,59	0,08	0,997	0,858	0,772
CNF	5,09	4,46	4,68	4,77	0,13	<0,01	0,031	<0,01
<i>Consumo dos nutrientes (%PV)</i>								
MS	2,31	2,12	2,18	2,20	0,04	0,015	0,050	0,013
FDN	0,83	0,81	0,81	0,81	0,02	0,791	0,433	0,596
<i>Consumo das partículas (kg MS.dia⁻¹)</i>								
> 19,0 mm	0,52	0,56	1,12	1,28	0,03	<0,01	<0,01	0,313
19,0 a 8,0 mm	2,55	1,75	1,31	1,38	0,07	<0,01	<0,01	0,295
8,0 a 1,18 mm	3,50	3,51	3,60	3,65	0,11	0,072	<0,01	0,812
< 1,18 mm	4,22	4,09	4,20	4,09	0,12	0,276	0,162	0,958
<i>Digestibilidade aparente total (%)</i>								
CDMS	53,59	51,84	53,39	53,56	2,09	0,702	0,792	0,439
CDFDN	37,42	37,04	38,83	35,89	2,43	0,648	0,703	0,345

*T5: dieta com silagem de cana-de-açúcar picada a 6,4 mm; T10: dieta com silagem de cana-de-açúcar picada a 11,0 mm; T15: dieta com silagem de cana-de-açúcar picada a 13,5 mm; T20: dieta com silagem de cana-de-açúcar picada a 16,0 mm. ¹MS: matéria seca; MO: matéria orgânica; PB: proteína bruta; EE: extrato etéreo; FDN: fibra em detergente neutro; FDNfe_{1,18}: fibra em detergente neutro fisicamente efetiva; CNF: carboidratos não fibrosos; CDMS: coeficiente de digestibilidade da matéria seca; CDFDN: coeficiente de digestibilidade da fibra em detergente neutro. ² EPM: Erro padrão da média. ³Efeitos dos contrastes: L: linear; Q: quadrático.

Taxa de passagem e tempo de retenção ruminal

A taxa de passagem (kp) alterou-se com os diferentes tamanhos de partícula ($P=0,055$), onde as dietas com tamanhos intermediários (T10 e T15) foram as que apresentaram menores valores (Tabela 4). Já para o tempo de retenção ruminal (TRR), esse comportamento foi o inverso, onde dietas com tamanhos intermediários obtiveram maiores médias comparadas a T5 e T20, que não se diferenciaram significativamente ($P=0,606$).

Tabela 4 – Taxa de passagem de sólidos e tempo de retenção ruminal de bovinos de corte alimentados com dietas contendo silagem de cana-de-açúcar com diferentes tamanhos de partículas

Item ¹	Tratamentos				EPM ²	Valor P	Efeito ³	
	T5	T10	T15	T20			L	Q
kp (%.h ⁻¹)	2,06	1,83	1,75	2,02	0,16	0,055	0,600	<0,01
TRR (h)	49,89	57,77	61,01	52,15	5,10	0,069	0,471	0,013

*T5: dieta com silagem de cana-de-açúcar picada a 6,4 mm; T10: dieta com silagem de cana-de-açúcar picada a 11,0 mm; T15: dieta com silagem de cana-de-açúcar picada a 13,5 mm; T20: dieta com silagem de cana-de-açúcar picada a 16,0 mm. ¹kp: taxa de passagem de sólidos; TRR: tempo de retenção ruminal. ²EPM: erro padrão da média. ³Efeitos dos contrastes: L: linear; Q: quadrático.

Índice de seleção e composição bromatológica das sobras

Houve efeito linear para todas as variáveis avaliadas do índice de seleção (Figura 1). Nas peneiras com aberturas de 19 e 8 mm houve efeito linear decrescente, sendo que dietas com maiores tamanhos de partículas levaram a maior rejeição dessa porção da ração total. Já nas peneiras com 1,18 e fundo sem abertura, o comportamento é o inverso, onde dietas com tamanhos de partículas maiores (T15 e T20) levam ao consumo preferencial de porções de tamanhos menores.

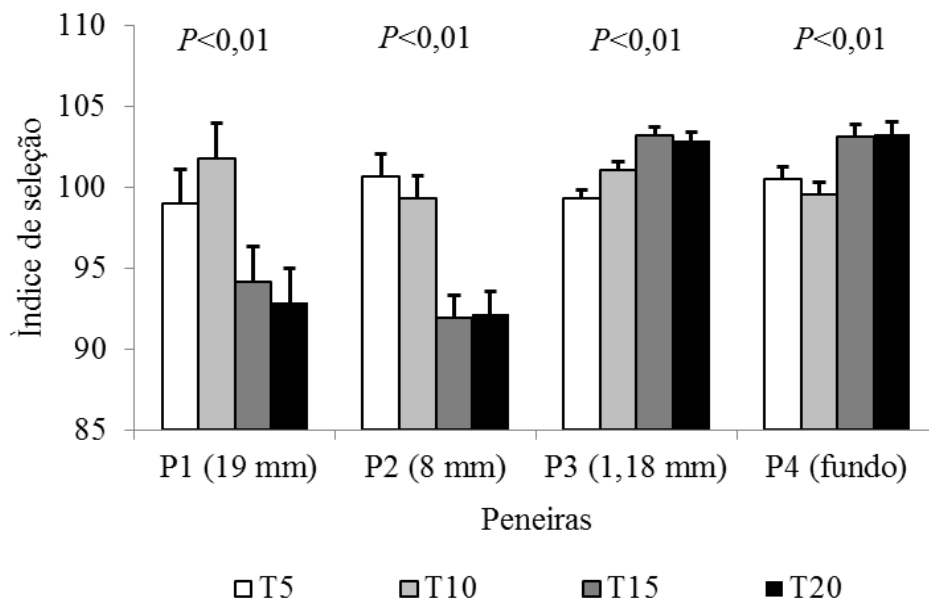


Figura 1. Índice de seleção de bovinos de corte alimentados com dietas contendo silagem de cana-de-açúcar com diferentes tamanhos de partículas

A composição bromatológica das sobras é um indicativo da quantidade de cada componente que foi consumido pelo animal (Tabela 5).

Tabela 5. Composição bromatológica das sobras das dietas de bovinos de corte alimentados com silagem de cana-de-açúcar com diferentes tamanhos de partículas

Item ¹	Tamanhos de partículas				EPM ²	Valor P	Efeito ³	
	T5	T10	T15	T20			L	Q
<i>Composição bromatológica das sobras</i>								
MS (g.kg ⁻¹)	544,2	560,3	530,3	508,8	19,5	0,263	0,163	0,185
PB (g.kg ⁻¹ MS)	105,0	113,4	89,7	81,2	5,9	<0,01	<0,01	0,011
FDN (g.kg ⁻¹ MS)	486,3	451,1	574,7	578,8	25,8	<0,01	<0,01	0,053
FDNfe _{1,18} (g.kg ⁻¹ MS)	299,5	269,6	447,1	469,9	39,4	<0,01	<0,01	0,085

*T5: dieta com silagem de cana-de-açúcar picada a 6,4 mm; T10: dieta com silagem de cana-de-açúcar picada a 11,0 mm; T15: dieta com silagem de cana-de-açúcar picada a 13,5 mm; T20: dieta com silagem de cana-de-açúcar picada a 16,0 mm. ¹MS: matéria seca; PB: proteína bruta; FDN: fibra em detergente neutro; FDNfe_{1,18}: fibra em detergente neutro fisicamente efetiva; ²EPM: erro padrão da média. ³Efeitos dos contrastes: L: linear; Q: quadrático.

A composição em MS não diferiu entre as dietas ($P=0,263$), mas as concentrações de PB, FDN e FDNfe_{1,18} ajustaram-se ao modelo quadrático, sendo que para a PB, a dieta T10 foi a que proporcionou maiores valores desse nutriente. Já para as concentrações de fibra, tanto FDN e FDNfe_{1,18}, essa dieta foi a que apresentou menores valores desses dois compostos nas sobras.

Comportamento ingestivo e fator de efetividade física real

Não houve diferença significativa para o fator de efetividade física real (fef real) entre as dietas ($P=0,317$). Apesar da falta de efeito estatístico ($P>0,10$), pode-se observar um menor valor numérico, aproximadamente 10% a menos de fef nas dietas T5 quando comparada as demais (Tabela 6).

Os diferentes tamanhos de partículas das silagens de cana-de-açúcar em dietas totais alteraram o comportamento ingestivo dos animais (Tabela 6). Dietas com maiores tamanhos de partículas levaram ao aumento do tempo despendido com a ingestão por kg de MS ($P=0,079$), mas não refletiu em modificações no tempo de ingestão em min.dia⁻¹ e min.kg⁻¹ FDN ($P>0,10$). Os tratamentos refletiram em diferenças significativas em todas as variáveis referentes à ruminação, mastigação e ócio ($P<0,10$). Em função do efeito quadrático, os animais alimentados com as dietas com tamanhos intermediários (T10 e T15) foram os que apresentaram maior tempo despendido com ruminação e mastigação, em min.dia⁻¹, min.kg⁻¹ MS, min.kg⁻¹ FDNfe_{1,18}. O tempo despendido com ruminação e mastigação, em min.kg⁻¹ FDN, ajustou-se ao modelo linear crescente com o aumento do tamanho de partícula.

Tabela 6. Comportamento ingestivo de bovinos de corte alimentados com silagens de cana-de-açúcar com diferentes tamanhos de partículas

Item ¹	Tamanhos de partículas				EPM ²	Valor P	Efeitos ³	
	T5	T10	T15	T20			L	Q
<i>Fator de efetividade real (fef real)</i>								
fef real	1,08	1,20	1,21	1,22	0,06	0,317	0,091	0,447
<i>Comportamento ingestivo</i>								
Ingestão								
min.dia ⁻¹	173	194	182	197	11,6	0,445	0,258	0,776
min.kg ⁻¹ MS	15,6	18,6	17,5	18,9	1,14	0,056	0,056	0,511
min.kg ⁻¹ FDN	40,5	45,1	43,7	47,4	2,99	0,379	0,135	0,862
min.kg ⁻¹ FDNfe _{1,18}	66,7	75,3	71,3	76,5	4,96	0,413	0,157	0,788
Ruminação								
min.dia ⁻¹	370	421	424	406	16,6	0,062	0,056	0,049
min.kg ⁻¹ MS	33,3	40,5	40,7	38,8	1,69	0,011	0,011	0,020
min.kg ⁻¹ FDN	86,4	98,3	101	97,1	4,24	0,074	0,036	0,110
min.kg ⁻¹ FDNfe _{1,18}	142	163	165	157	7,18	0,063	0,073	0,068
Mastigação								
min.dia ⁻¹	543	615	606	603	19,5	0,044	0,025	0,080
min.kg ⁻¹ MS	48,9	59,1	58,2	57,6	2,05	<0,01	<0,01	0,022
min.kg ⁻¹ FDN	127	143	145	144	5,40	0,049	0,013	0,187
min.kg ⁻¹ FDNfe _{1,18}	209	239	237	234	9,28	0,031	0,033	0,094
Ócio								
min.dia ⁻¹	897	825	834	837	19,5	0,044	0,025	0,080

*T5: dieta com silagem de cana-de-açúcar picada a 6,4 mm; T10: dieta com silagem de cana-de-açúcar picada a 11,0 mm; T15: dieta com silagem de cana-de-açúcar picada a 13,5 mm; T20: dieta com silagem de cana-de-açúcar picada a 16,0 mm. ¹MS: matéria seca; FDN: fibra em detergente neutro; FDNfe_{1,18}: fibra em detergente neutro fisicamente efetiva; ²EPM: erro padrão da média. ³Efeitos dos contrastes: L: linear; Q: quadrático.

Desempenho produtivo

As variáveis avaliadas no desempenho produtivo de bovinos de corte não foram afetadas pelos diferentes tamanhos de partículas ($P < 0,10$), como observado na Tabela 7.

Apesar de um valor P elevado, observa-se uma leve queda no desempenho dos animais alimentados com o tratamento T10. A média de 1,49 kg.dia⁻¹ de ganho médio diário indica que as dietas supriram as exigências nutricionais prévias de formulação, indicadas pelo NRC (1996).

Tabela 7. Desempenho produtivo e características de carcaça de bovinos de corte alimentados com silagem de cana-de-açúcar com diferentes tamanhos de partículas

Itens ¹	Tamanhos de partículas				EPM ²	Valor P	Efeito ³	
	T5	T10	T15	T20			L	Q
Peso final (kg)	533	527	532	535	11,3	0,719	0,485	0,234
GMD (kg.dia ⁻¹)	1,56	1,44	1,50	1,46	0,06	0,305	0,214	0,366
CA (kg MS.kg ⁻¹ GMD)	6,94	6,93	6,91	7,15	0,21	0,831	0,582	0,520
EA (kg GMD.kg ⁻¹ MS)	0,145	0,145	0,147	0,141	0,01	0,723	0,671	0,403
RC (%)	55,3	55,8	55,7	55,4	0,47	0,834	0,804	0,380
AOL (cm ²)	73,2	75,7	75,2	75,1	2,97	0,901	0,583	0,633
EG (mm)	3,95	4,08	3,46	4,45	0,31	0,178	0,595	0,249
pH final da carcaça	5,96	5,90	5,94	6,06	0,07	0,358	0,311	0,142
Fígado (kg)	6,26	5,95	6,16	6,06	0,21	0,710	0,551	0,544
GRPI (kg)	5,08	5,08	5,42	6,03	0,37	0,252	0,189	0,281

*T5: dieta com silagem de cana-de-açúcar picada a 6,4 mm; T10: dieta com silagem de cana-de-açúcar picada a 11,0 mm; T15: dieta com silagem de cana-de-açúcar picada a 13,5 mm; T20: dieta com silagem de cana-de-açúcar picada a 16,0 mm. ¹GMD: ganho médio diário; CA: conversão alimentar; EA: eficiência alimentar, RC: rendimento de carcaça; AOL: área de olho de lombo medida no músculo *Longissimus*; EG: espessura de gordura medida no músculo *Longissimus*; GRPI: Somatório das gorduras renal, pélvica e inguinal; ²EPM: erro padrão da média. ³Efeitos dos contrastes: L: linear; Q: quadrático.

Parâmetros ruminiais

Observou-se efeitos de tamanhos de partículas para os valores de pH, sendo ajustado o modelo linear crescente para o tratamento e o quadrático, para tempo de colheitas (Tabela 8).

Tabela 8. Parâmetros ruminais de bovinos de corte alimentados com dietas contendo silagens de cana-de-açúcar com diferentes tamanhos de partículas

Item	Tamanhos de partículas – T					Tempo de colheita – H (horas)					EPM ¹		Valor P ²			Contraste – T ³			Contraste – H ⁴		
	T5	T10	T15	T20	EPM ¹	0	4	8	12	24	EPM ¹	T	H	T*H	L	Q	L	Q	L	Q	
pH	6,38	6,46	6,53	6,59	0,07	6,90	6,43	6,21	5,99	6,92	0,07	<0,01	<0,01	0,115	<0,01	0,658	<0,01	0,658	<0,01	<0,01	
N-NH ₃ (mg dL ⁻¹)	10,11	9,99	10,26	10,36	0,44	8,01	10,41	16,02	9,12	7,35	0,39	0,713	<0,01	0,514	0,398	0,696	<0,01	0,696	<0,01	<0,01	
AC (mmol L ⁻¹)	70,30	70,11	67,05	65,73	2,81	56,89	75,42	85,01	79,06	45,09	2,42	0,311	<0,01	0,429	0,186	0,795	<0,01	0,795	<0,01	<0,01	
AP (mmol L ⁻¹)	21,78	20,32	18,32	19,71	1,38	17,33	21,13	24,84	23,02	13,84	1,37	<0,01	<0,01	0,474	<0,01	0,161	<0,01	0,161	<0,01	<0,01	
AB (mmol L ⁻¹)	16,94	13,28	13,16	13,13	1,17	10,76	15,33	19,69	16,48	8,39	0,98	<0,01	<0,01	0,281	<0,01	0,109	<0,01	0,109	<0,01	<0,01	
AGCC_T (mmol L ⁻¹)	113,1	107,6	102,1	102,2	5,76	89,0	115,8	133,7	122,3	70,6	5,60	0,033	<0,01	0,594	<0,01	0,595	<0,01	0,595	<0,01	<0,01	

*T5: dieta com silagem de cana-de-açúcar picada a 6,4 mm; T10: dieta com silagem de cana-de-açúcar picada a 11,0 mm; T15: dieta com silagem de cana-de-açúcar picada a 13,5 mm; T20: dieta com silagem de cana-de-açúcar picada a 16,0 mm. ¹N-NH₃: nitrogênio amoniacal; AC: ácido acético; AP: ácido propiônico; AGCC_T: ácidos graxos de cadeia curta totais; ²EPM: erro padrão da média; ³Valor P: T: tamanho médio de partícula; H: horas; T*H: interação tamanhos médio de partículas*hora; ⁴Contraste para tamanhos de partículas: L: linear; Q: quadrático; ⁵Contraste para horas: L: linear; Q: quadrático

As concentrações de amônia ruminal e ácido acético não foram alteradas pelas diferentes dietas, com média de 10,18 mg/dL e 68,30 mmol/L, respectivamente. Já para o tempo de colheita, essas duas variáveis ajustaram-se ao modelo quadrático, com ponto de máximo em 8 horas após o fornecimento da dieta.

Houve efeito de tamanho de partículas para o ácido propiônico, seguindo o modelo quadrático com menores concentrações para as dietas T10 e T15. Para esse ácido, observa-se o pico de concentração com 8 horas após a primeira alimentação. As concentrações de ácido butírico e os AGCC totais foram influenciadas pelos tratamentos, com efeito linear decrescente em função do aumento do tamanho de partícula. Para os horários de colheita, ajustaram-se ao modelo quadrático, com ponto de máximo também apresentado com 8 horas após o início das colheitas.

Houve efeito significativo de interação para a razão acetato:propionato (AC/AP), apresentada na Figura 2. Os valores de AC/AP inicial foram semelhantes entre os tratamentos, mas na colheita de 4 horas já se pode observar que a dieta T15 foi aquela que apresentou maiores valores, não diferindo significativamente apenas de T10. Nas colheitas de 8 e 12 horas, a dieta T15 também apresentou uma AC/AP mais elevada ($P < 0,10$) e T5, T10 e T20 foram menores e iguais ($P > 0,10$). Já na colheita de 24 horas, os valores não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos.

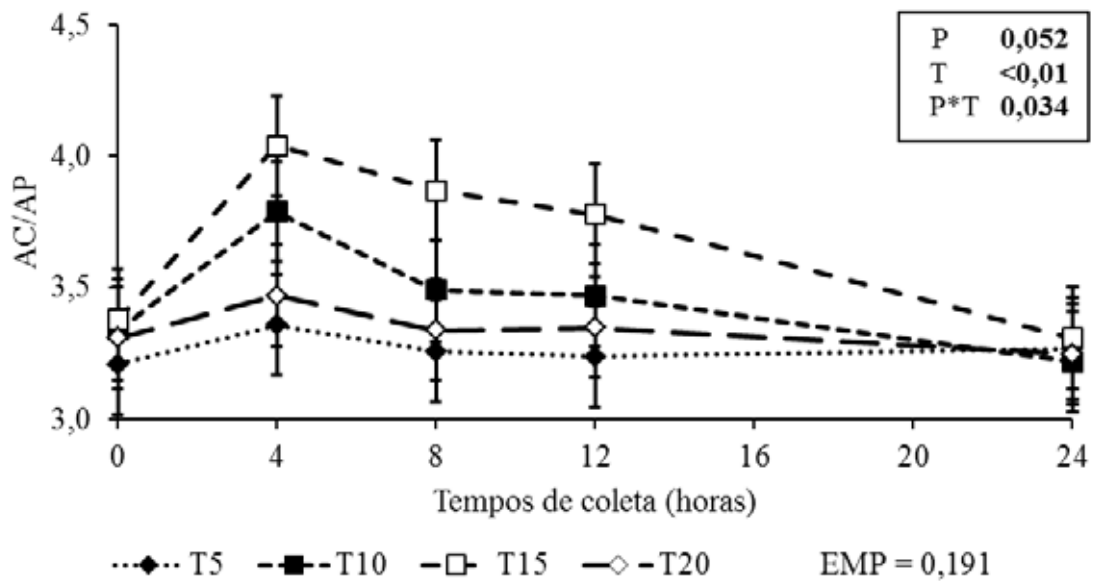


Figura 2. Interação entre tamanho médio de partícula (TMP) e tempos de colheita para a razão acetato:propionato de bovinos de corte alimentados com dietas contendo silagem de cana-de-açúcar com diferentes tamanhos de partículas. T: valor de probabilidade para TMP; D: valor de probabilidade para dias de armazenamento; T*D: valor de probabilidade para a interação entre TMP e dias de armazenamento. EPM – erro padrão da média.

Discussão

Consumo e digestibilidade aparente total dos nutrientes

O menor consumo de MS observado na silagem T10 pode ser atribuído as maiores alterações na composição química dessa silagem. A silagem T10 foi a que apresentou maior concentração de FDN em sua composição e a sua dieta, o menor consumo de MS. Possivelmente, a fibra presente na dieta controlou o consumo, devido a repleção ruminal e baixa taxa de passagem de sólidos pelo rúmen (VAN SOEST, 1994). Observou-se nesse trabalho que o consumo médio de FDN entre as dietas, em % PV, foi de 0,82%, sendo menor do que 1,1% preconizado por Mertens (1987) como valor mínimo para que ocorra o controle de consumo por repleção

ruminal, fato que ocorre devido à baixa qualidade da fibra da cana-de-açúcar. Pesquisas brasileiras indicam consumo de FDN, em dietas a base de cana-de-açúcar, com média de 0,80% do PV (DANIEL et al., 2013; SCHMIDT et al., 2014).

Resultados de baixa ingestão de MS quando na dieta há cana-de-açúcar deve-se ao fato de que o principal componente morfológico, em peso, é o colmo. Com isso, sabe-se que quando essa forragem é ofertada aos animais, tanto na forma *in natura* quanto silagem, há elevado fornecimento de FDN de origem esclerenquimática (tecido vascular) lignificada. Os compostos fenólicos derivados da lignina, como vanilina, ácido p_cumárico e ácido ferúlico, inibem a digestão da celulose e da hemicelulose por culturas puras ou mistas de microrganismos ruminais (AKIN, 1982; AKIN et al., 1988). Deschamps e Ramos (2002) observaram concentração de ácido p_cumárico mais elevado no bagaço de cana-de-açúcar quando comparado ao capim-elefante, concluindo que essa presença pode ser um indicativo da baixa digestão presente em materiais advindos de cana-de-açúcar. Essa baixa digestibilidade leva ao menor consumo de MS devido à saciedade física e baixa taxa de passagem.

Além do critério de composição, o tamanho de partícula também é um indicativo do efeito quadrático no consumo da maioria dos nutrientes. Dietas fornecidas com pequenos tamanhos de partículas podem acelerar a taxa de passagem do alimento pelo rúmen, induzindo consumos mais elevados. Se a dieta promover maiores tamanhos de partículas, os quais poderiam levar a baixos consumos devido a menor taxa de passagem, o consumo de MS também pode aumentar, devido a seleção da dieta pelos animais por porções de tamanhos menores (SANTOS, 2010). Essa seleção fica evidente para os animais que consomem dietas T20.

Os consumos de MO, PB, EE e CNF acompanharam o comportamento quadrático do consumo de MS, possivelmente devido as suas concentrações serem semelhantes entre as dietas.

O aumento do consumo de partículas maiores de 19 mm nas dietas de maior tamanho de partículas é atribuído ao fato dessas dietas possuírem maiores proporções dessa fração. Apesar dos animais que se alimentavam das dietas T15 e

T20 apresentarem alto grau de seleção, com preferência ao consumo de partículas menores, ainda sim ingeriam partículas de maior comprimento.

O consumo de partículas menores do que 1,18 mm foi igualado entre as dietas devido à menor seleção dos animais nas dietas de menores tamanhos (T5 e T10) associado ao alto grau de rejeição de partículas longas pelos animais que ingeriam as dietas T15 e T20.

Apesar das diferenças observadas para o consumo de MS, não se observou efeito significativo para as digestibilidades de MS e FDN. O principal fator da dieta que afeta a digestibilidade é concentração de lignina, pois esse composto faz parte da matriz da parede celular e reduz a acessibilidade dos microrganismos aos carboidratos digeríveis (VAN SOEST, 1994), o que gera digestibilidades dessas silagens entre 20-30% (OLIVEIRA et al., 2012). A lignina, em termos de análises laboratoriais, é um componente que pertence a FDN do alimento, indicando que como o consumo de FDN não diferiu entre as dietas, provavelmente o consumo de lignina também não, o que acarreta digestibilidades semelhantes. Esperava-se que dietas com menor taxa de passagem pelo rúmen apresentassem maiores digestibilidades da fibra, devido ao maior tempo de retenção ruminal e condições para a degradação microbiana (VILELA et al., 2003), mas, apesar de haver diferenciação da taxa de passagem do volumoso pelo rúmen, a seleção feita pelos animais que se alimentara dessa dieta, igualou os efeitos entre tratamentos.

Taxa de passagem e tempo de retenção ruminal

A taxa de passagem das dietas T5 e T20 se assemelham devido à seleção por partículas menores pelos animais que ocorreu na segunda dieta. Esse fato levou ao consumo preferencial de partículas menores e diminuição do tempo de retenção ruminal da fração fibrosa dessa dieta. Observa-se que nas dietas onde o tempo de retenção da fibra no rúmen foi maior, a concentração de ácido propiônico foi menor (T10 e T15). O tempo de retenção ruminal foi definido pela seleção da dieta, onde T20 observou preferência por partículas menores, elevando a taxa de passagem, além da síntese de ácido propiônico.

Quando a fibra fica mais tempo retida no rúmen, a possibilidade de digestão é maior (VAN SOEST, 1994) e a razão acetato:propionato tende a aumentar também, estando esse resultado presente nesse trabalho. Segundo Zinn et al. (2006), o tempo de retenção da fibra no rúmen e, conseqüentemente, o período de tempo em que é exposta ao processo fibrolítico, é influenciado principalmente pelo tamanho inicial da partícula consumida e pela taxa de redução do tamanho da partícula.

Índices de seleção e composição bromatológica das sobras

Porções retidas nas peneiras com aberturas de 19 e 8 mm foram recusadas preferencialmente nas dietas com maiores tamanhos de partículas (dietas T15 e T20) devido a capacidade seletiva dos animais em recusar alimentos mais grosseiramente picados, consumindo preferencialmente as partículas mais finas (LEONARDI e ARMENTANO, 2003). Isso acontece, pois partículas longas permanecem maiores períodos de tempo no rúmen até que sejam digeridas ou obtenha o tamanho necessário para a passagem pelo orifício retículo-omasal, alterando o consumo devido ao maior tempo de saciedade física (ALLEN, 2000). Por isso, em dietas com maiores tamanhos de partículas, os animais consomem preferencialmente partículas menores, o que levou ao consumo similar entre as dietas de partículas com tamanho menor do que 1,18 mm.

Outro critério que pode ser utilizado como um indicador de seleção dos animais é a composição das sobras. Normalmente, nas dietas de animais em confinamento, na porção volumosa da dieta, encontra-se uma maior concentração de fibra e, no concentrado, há maior concentração de proteína e carboidratos não fibrosos. O comportamento quadrático de composição em PB indicou menor consumo de concentrado nas dietas com tamanhos intermediários, principalmente em T10, pois essa dieta já possuía uma maior concentração de FDN, o que possivelmente levou ao menor consumo voluntário desses animais.

Sobras que possuem elevadas concentrações de fibra indicam consumo seletivo de concentrado, ou partículas menores, com maior rejeição do volumoso (VAN SOEST, 1994). As concentrações de FDN e FDN_{fe1,18} maiores em T5 e T20

justificam-se devido a primeira dieta ter sido menos selecionada pelos animais, apresentando sobras mais uniformes. Já a segunda, houve elevada seleção de consumo de partículas menores, apresentando sobras ricas em volumosos, o que pode ser comprovada também pela menor concentração de PB.

Comportamento ingestivo e fator de efetividade física real

A similaridade entre o fator de efetividade física real, baseado no tempo despendido com a mastigação, reflete a elevada seleção das partículas menores por animais que consumiam as dietas com maiores tamanhos de partículas (T15 e T20).

O efeito significativo no comportamento ingestivo quando há dietas com diferentes tamanhos de partículas foi observado em outros trabalhos presentes na literatura (LEONARDI e ARMENTANO, 2003; YANG e BEAUCHEMIN, 2006; SANTOS, 2010). A falta de efeito significativo para a ingestão, em min/dia, juntamente com o efeito linear crescente de tratamento para o tempo de ingestão, em min/kg de MS, indica que os animais alimentados com dietas com maiores tamanhos utilizam-se do mesmo tempo em posição de ingestão, mas isso não é convertido diretamente em consumo da dieta. Provavelmente, esses animais estariam utilizando-se do tempo para selecionar a dieta para o consumo das porções mais digestíveis e de menores tamanhos.

Quando se trabalha com tamanho de partículas de alimentos volumosos, que normalmente são utilizados como fonte de fibra, espera-se que os animais consumam maior quantidade de fibra longa nas dietas com maiores tamanhos, mantendo-se mais tempo em processo de ruminação (SANTOS, 2010). Esse fato não fica evidenciado nos resultados desse trabalho, pois houve seleção da dieta pelos animais por partículas menores. O tempo gasto com a atividade de ruminação apresenta-se de forma quadrática entre as dietas, indicando que os animais alimentados pela dieta T20 equivaleram-se àqueles pertencentes a dieta T5, pois a diferença de tamanho de partícula da dieta necessariamente consumida não diferiu de forma pronunciada após a seleção. Kononoff et al. (2003b), trabalhando com quatro dietas com diferentes proporção de silagem de alfafa com diferentes picagens (4,1, 4,8, 5,7 e 6,8 mm – tamanho médio de partícula das dietas totais), também

encontraram comportamento quadrático para essa variável (min.dia^{-1}) com máxima ruminação de $504,7 \text{ min dia}^{-1}$ apresentada para a dieta com 4,8 mm de tamanho de partícula.

Santos (2010), trabalhando com cana-de-açúcar *in natura* com diferentes tamanhos de partículas para vacas leiteiras com dietas, com relação volumoso: concentrado de 60:40, não encontraram diferença significativa dos tratamentos, com o tempo médio despendido de $514,6 \text{ min dia}^{-1}$. Esses resultados enfatizam o efeito de que a relação entre volumoso e concentrado do alimento fornecido interfere de forma significativa no resultado, e, principalmente que a relação dos componentes da dieta do alimento consumido interfere também, devido à seleção.

O tempo despendido com a ruminação mostra as diferentes capacidades das dietas em estimular esse parâmetro. Esperava-se maior tempo despendido nessa ação pelos animais consumindo dietas com tamanhos de partículas maiores, mas a intensa seleção por partículas menores nas dietas T15 e T20 fez com que o comportamento quadrático fosse observado. O efeito linear crescente da ruminação, $\text{min kg}^{-1} \text{ FDN}$, mas quadrático quando expresso em $\text{min kg}^{-1} \text{ FDNfe}_{1,18}$ indica que o consumo de grande parte da FDN na dieta T20 não estava na forma fisicamente efetiva.

A variável mastigação encontra-se como o somatório do tempo despendido com a ingestão e a ruminação. Com isso, como houve efeito nos resultados de ruminação, a mastigação comportou-se com o mesmo efeito. O tempo em ócio menor observado para os animais da dieta T10 deve-se ao fato de que esses se mantiveram em atividade de mastigação por mais tempo, ao longo do dia.

Desempenho produtivo

O desempenho dos animais não foi influenciado pelos tratamentos devido principalmente, pela capacidade seletiva dos animais em escolher as porções dos alimentos que supram as suas exigências metabólicas e fisiológicas.

O desempenho animal é relacionado, principalmente com o consumo de MS da dieta (VAN SAOEST, 1994). Apesar da falta de efeito significativo ($P=0,305$), observou uma sutil diminuição para o ganho de peso diário dos animais que

consumiram a dieta T10, possivelmente devido a maior concentração de FDN dessa dieta e menor consumo de MS.

A similaridade de raça e perfil genético dos animais, além de que os pesos de abate dos animais foram similares entre as dietas, acarretou características de carcaça também semelhantes entre os tratamentos.

Parâmetros ruminais

Os valores de pH elevaram-se linearmente com o aumento do tamanho das partículas devido ao fato de que, apesar de haver seleção das porções da dieta, animais que foram alimentados com as dietas com maiores tamanhos ainda consumiram partículas maiores que estimularam a salivação e, conseqüentemente, o tamponamento do rúmen.

A concentração de amônia se manteve similar entre os tratamentos, o que propiciou crescimento de microrganismos fibrolíticos no rúmen. A concentração média de 10,18 mg/dL de fluido ruminal está acima do preconizado para as condições brasileiras de 6,24 e 9,64mg/dL como valor adequado para crescimento microbiano satisfatório e máximo desempenho animal, respectivamente (SAMPAIO et al, 2009)

A produção de ácido acético similar entre as dietas ocorreu devido a falta de efeito no consumo de FDN e, principalmente, na digestibilidade da fibra semelhante entre as dietas, sendo a degradação dessa porção a principal via de síntese de ácido acético (VAN SOEST, 1994).

O ácido butírico seguiu o mesmo comportamento linear decrescente apresentado pela produção total de ácido de cadeia curta (AGCC_T). A produção final diminuiu com o aumento dos tamanhos de partícula possivelmente devido a menor taxa de fermentação ruminal de partículas maiores.

A relação acetato:propionato comportou-se de forma quadrática, pois o ácido acético não foi alterado pelos tratamentos, mas o ácido propiônico ajustou-se ao modelo quadrático. As dietas T5 e T20 mantiveram-se sempre similares, sendo T15 aquela que diferenciou-se com 4, 8 e 12 horas de colheita. Os resultados mostram claramente que a seleção presente na dieta T20 foi mais intensa, com consumo de

partículas pequenas, provavelmente com maior quantidade de concentrado, o que levou ao aumento da concentração de ácido propiônico.

Todas as variáveis foram influenciadas significativamente pelo tempo de colheita, alcançando o pico de concentração com 8 horas após o fornecimento da dieta matinal. Relaciona-se esse dado com o período de tempo diurno entre períodos consecutivos de alimentação, gerando esse acúmulo de ácidos no rúmen.

Conclusões

O tamanho de partícula da silagem de cana-de-açúcar não influencia na efetividade da dieta, devido ao fator similar de efetividade física.

Diferentes tamanhos de partículas não alteram os parâmetros de saúde ruminal, devido à alta seletividade da dieta.

Em dietas de bovinos de corte em confinamento, diferentes tamanhos de partículas da silagem de cana-de-açúcar podem ser utilizados com igual desempenho produtivo entre os animais, mas tamanhos menores do que 11 mm são indicados para a diminuição da seleção de partículas pelos animais.

Referências

- AKIN, D.E. Forage cell wall degradation and p-coumaric, ferulic and sinapic acids. **Agronomy Journal**, v.74, p.424-428, 1982.
- AKIN, D.E.; RIGSBY, L.L.; THEODOROU, M.K. Population changes of fibrolytic rumen bacteria in the presence of phenolic acids and plant extracts. **Animal Feed Science Technology**, v.19, p.261-275, 1988.
- ALLEN, M.S. Effects of diet on short-term regulation of feed intake by lactating dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, v.83, p.1598-1624, 2000.
- ARMENTANO, L.; PEREIRA, M. Measuring the effectiveness of fiber by animal response trials. **Journal of Dairy Science**, v.80, p.1416-1425, 1997.
- ASAE Standard. Method of determining and expressing particle size of chopped forage materials by sieving. In: American Society of Agricultural Engineers, **Standards**, St. Joseph, MI, 2001.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS - AOAC. **Official methods of analysis of the Association of Analytical Chemists**. 15.ed. Arlington: 1990. 1117p.

CHANEY, A.L.; MARBACH, E.P. Modified reagents for determination of urea and ammonia. **Clinical Chemistry**, v.8, p.130-132, 1962.

DANIEL, J.L.P.; SANTOS, M.C.; ZOPOLLATTO, M.; HUHTANEN, P.; NUSSIO, L.G. A data-analysis of lime addition on the nutritive value of sugarcane in Brazil. v.184, p.17-23, 2013.

DESCHAMPS, F.C.; RAMOS, L.P. Método para a determinação de ácidos fenólicos na parede celular de forragens. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, n.4, p.1634-1639, 2002.

GOULART, R. **Avaliação da fibra fisicamente efetiva em ração para bovinos de corte**. 2010. 200f. Tese (Doutorado em Ciência Animal e Pastagens) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura, Piracicaba, 2010.

GUIMARÃES, A.; MONTANARI, I.P.B.; FARIA, S. Usinas autossustentáveis: combustíveis e energia a partir da cana-de-açúcar. **Bolsista de valor - Revista de divulgação do projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense**. v.2, n.1, p.311-315. 2012.

HALL, M. B. **Calculation of non-structural carbohydrate content of feeds that contain non-protein nitrogen**. University of Florida, 2000. p.A-25 (Bulletin 339, April- 2000).

HUHTANEN, P.; KUKKONEM, U. Comparison of methods, markers, sampling sites and models for estimating digesta passage kinetics in cattle fed at two levels of intake. **Animal Feed Science and Technology**, v.52, n.1/2, p.141-158, 1995.

KONONOFF, P. J.; HEINRICHS, A. J.; LEHMAN, H. A.. The effect of corn silage particle size on eating behavior, chewing activities, and rumen fermentation in lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.86, p.3343–3353. 2003a.

KONONOFF, P.J.; HEINRICHS, A.J. The effect of reducing alfalfa haylage particle size on cows in early lactation. **Journal of Dairy Science**, v.86, n.4, p.1445-1457, 2003b.

LEONARDI, C.; ARMENTANO, L. E.. Effect of quantity, quality, and length of alfalfa hay on selective consumption by dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.86, n.2, p.557-564, 2003.

MERTENS, D. R. Predicting intake and digestibility using mathematical models of ruminal function. **Journal of Animal Science**, v.64, p.1548-1558, 1987

MERTENS, D.R. Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.80, p.1463-1481, 1997.

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

NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. **Nutrient requirements of beef cattle**. 7.ed. Washington, DC: National Academy Press.1996. 242 p.

OLIVEIRA, M.D.S.; RÊGO, A.C.; SFORCINI, M.P.R.; FREITAS JÚNIOR, J.E.; SANTOS, J.; CARVALHO, M.V. Bromatological characteristics and in vitro digestibility of four sugarcane varieties subjected or not to the application of quicklime. **Acta Scientiarum**, v.34, n.4, p.355-361, 2012.

OWENS, F.N.; SECRIST, D.S.; HILL, W.J.; GILL, D.R. Acidosis in cattle: a review. **Journal of Animal Science**, v.76, p.275-286. 1998.

PRYCE, J. D. A modification of the Barker-Summerson method for the determination of lactic acid. **Analist**, v.94, p.1151-1152, 1969.

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

SAMPAIO, C. B.; DETMANN, E.; LAZZARINI, I.; SOUZA, M. A.; PAULINO, M. F.; VALADARES FILHO, S.C. Rumen dynamics of neutral detergent fiber in cattle fed low-quality tropical forage and supplemented with nitrogenous compounds. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, n.3, p.560-569, 2009.

SANTOS, V.P. **Tamanho de partículas da cana-de-açúcar in natura na alimentação de vacas e cabras em lactação**. 2010. 121f. Tese (Doutorado em Ciência Animal e Pastagens) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura, Piracicaba, 2010.

SANTOS, F.A.P.; SOUZA, J.; BATISTEL, F.; COSTA, D.F.A. Modalidades de confinamento sem o uso de volumosos: realidade e limitações. In: COAN, R.M.; COAN, R.M. 8º **Encontro de Confinamento: gestão técnica e econômica**. Jaboticabal: FUNEP, 2013. p.261-291.

SCHMIDT, P.; NUSSIO, L.G.; QUEIROZ, O.C.M.; SANTOS, M.C.; ZOPOLLATTO, M.; TOLEDO FILHO, S.G.; DANIEL, J.L.P. Effects of *Lactobacillus buchneri* on the nutritive value of sugarcane silage for finishing beef bulls. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.43, n.1, p.8-13, 2014.

SIQUEIRA, G.R.; SILVA, N.C.; CAMPOS, A.F.; RESENDE, F.D. Avanços tecnológicos na produção e utilização de silagem de cana-de-açúcar. In: JOBIM, C.C.; CECATO, U.; CANTO, M.W.; BANKTI, F.I. V simpósio: Produção e utilização de forragens conservadas. **Anais...** 1ed. Maringá: Sthampa, v. 1, p. 117-156, 2014.

ÚDEN, P.; COLUCCI, P.E.; VAN SOEST, P.J. Investigation of chromium, cerium, and cobalt as markers in digesta rate of passage studies. **Journal of Science Food and Agricultural**, v.31, n.6, p.625-632, 1980.

VALENTE, T.N.P.; DETMANN, E.; QUEIROZ, A.C.; VALADARES FILHO, S.C.; GOMES, D.I.; FIGUEIRAS, J.F. Evaluation of ruminal degradation profiles of forages using bags made from different textiles. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.40, p.2565-2573, 2011.

VAN SOEST, P.J. **Nutritional ecology of the ruminants**. 2.ed. Ithaca: Cornell University, 1994. 476p.

VAN SOEST, P.J.; ROBERTSON, J.B.. **Analysis of forages and fibrous foods**, Ithaca: Cornell University, 1985. 202p.

VILELA, M.S.; FERREIRA, M.A.; VÉRAS, A.S.C. et al. Avaliação de diferentes suplementos para vacas mestiças em lactação alimentadas com cana-de-açúcar: desempenho e digestibilidade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.32, p.768-777, 2003.

WEISSBACH, F. Correction of dry matter content of silages used as substrate for biogas production. In: BRODERICK, G.A.; ADESOGAN, A.A.T.; BOCHER, L.W.; BOLSEN, K.K.; CONTRERAS-GOVEA, F.E.; HARRISON, J.H.; MUCK, R.E. (Ed.). INTERNATIONAL SILAGE CONFERENCE, 15, 2009. Madison, **Proceedings...** Madison-Wi, p.483-484, 2009.

WILLIAMS, C.H.; DAVID, D.J.; IISMAA, O. The determination chromic oxide in feces samples by atomic absorption spectrophotometry. **Journal of Agriculture Science**, v.59, p.381-385, 1962.

YANG, W.Z.; BEAUCHEMIN, K.A. Physically effective fiber: method of determination and effects on chewing, ruminal acidosis, and digestion by dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.89, p.2618-2633, 2006.

ZINN, R.A.; GARCES, P. Suplementação de bovinos de corte criados a pasto: considerações biológicas e econômicas. In: VALADARES FILHO, S.C.; PAULINO, P.V.R. (Eds). Simpósio de produção de gado de corte, 5., Simpósio Internacional de produção de gado de corte, 1. Produção e utilização de forragens conservadas. **Proceedings...** Viçosa: UFV, p.16-30, 2006.