



**ADIÇÃO DE CAL SOBRE A CANA-DE-AÇÚCAR:
PERDA DE NUTRIENTES E DIGESTIBILIDADE**

LUTHESCO HADDAD LIMA CHALFUN

2008

LUTESCO HADDAD LIMA CHALFUN

**ADIÇÃO DE CAL SOBRE A CANA-DE-AÇÚCAR: PERDA DE
NUTRIENTES E DIGESTIBILIDADE**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Zootecnia, área de concentração em produção animal, para a obtenção do título de “Mestre”.

Orientador
Prof. José Camisão de Souza

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL
2008

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos
Técnicos da Biblioteca Central da UFLA**

Chalfun, Luthesco Haddad Lima.

Adição de cal sobre a cana-de-açúcar: perda de nutrientes e digestibilidade / Luthesco Haddad Lima Chalfun. – Lavras : UFLA, 2008.

69 p. : il.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2008.

Orientador: José Camisão de Souza.

Bibliografia.

1. Cal. 2. Cana. 3. Hidrolise. 4. Digestibilidade. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 636.20852

LUTESCO HADDAD LIMA CHALFUN

**ADIÇÃO DE CAL SOBRE A CANA-DE-AÇÚCAR: PERDA DE
NUTRIENTES E DIGESTIBILIDADE**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Zootecnia, área de concentração em produção animal, para a obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA em 3 de outubro de 2008

Professor Dr. Marcos Neves Pereira	UFLA
Professor Dr. Tarcísio de Moraes Gonçalves	UFLA
Professor Dr. Márcio Machado Ladeira	UFLA
Professor Dr. Gustavo Augusto de Andrade	EAF Machado, MG

Professor Dr. José Camisão de Souza
UFLA
(Orientador)

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL

“Homem de pouca fé, por que duvidastes?”

Jesus Cristo

A Deus, por mais uma vitória dentre tantas;

Talvez uma das mais difíceis, mas não a pior;

Com um desejo profundo e muita fé, sem jamais se
entregar à derrota.

OFEREÇO

“Quando as dificuldades são terríveis, os desafios se tornam apaixonantes”

Winston Churchill

Dedico este trabalho a tudo que tenho na vida: meus pais Edson Nagib Jorge Chalfun e Kátia Regina Lima Chalfun, pela confiança, dedicação, honestidade, amor e principalmente, o exemplo de família e de vida a ser seguido.

A minha querida irmã e amiga, Lourenya Tatiana Flora Chalfun.

A minha razão de viver: minha sobrinha Ana Carolina Chalfun de Sant'Ana, pela benção de Deus, por fazer parte da minha vida.

A todos (as) os (as) meus (minhas) amigos (as), pela força e amizade.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus e à Nossa Senhora, pelo dom da vida e estar sempre ao meu lado.

À Universidade Federal de Lavras, em especial ao Departamento de Zootecnia, pela oportunidade de ter este privilégio, e total liberdade de uso de suas instalações e recursos humanos.

À Fundação de Apoio ao Ensino e Extensão, pelo apoio incondicional no subsídio material desse projeto.

Meus sinceros e eternos agradecimentos, especialmente, ao meu orientador, professor Dr. José Camisão de Souza, pela amizade, oportunidade, paciência, confiança e compreensão. Além de educador, foi e sempre será um grande amigo.

Ao professor Dr. Marcos Neves Pereira, pela gentileza, prestatividade, confiança, amizade, ensinamentos e a oportunidade para realização deste projeto, meus mais sinceros e eternos agradecimentos.

Ao professor Dr. Tarcísio de Moraes Gonçalves, pela disponibilidade de tempo, pelo intuito de ensinar, pela paciência e a amizade, meu muito obrigado.

Ao professor Dr. Gustavo Augusto de Andrade, que não mediu esforços para participar deste projeto, independentemente da distância, registro aqui meus agradecimentos.

Ao professor Dr. Márcio Machado Ladeira, que apoiou muitas vezes a concretização deste árduo trabalho.

A minha querida irmã, Lourenya Tatiana Flora Chalfun, pelo amor e incansável esforço na participação deste projeto.

Ao eterno amigo Leandro Sâmia Lopes pelo apoio, amizade e auxílio indispensável na realização das tarefas

Ao eterno amigo e irmão, Hélio Rezende Lima Neto, pela amizade, apoio e incentivo. Mesmo distante, contribuiu e muito para a elaboração deste trabalho.

Aos grandes amigos Luiz Felipe de Siqueira Montalvão, Rafael Vilas Boas e Gilson Sebastião Dias Júnior que, desde o primeiro momento, assumiram essa árdua tarefa e foram essenciais para a concretização do trabalho.

As minhas queridas amigas Ana Izabella Freire, Lisânia Carvalho, Tássia Carvalho e Renata Maculan, pela ajuda em todos os momentos, principalmente nos mais difíceis.

Aos grandes amigos e professores Dr. Ricardo Reis, Dr. Eduardo Furtini, Dr. Moacir Paschoal, Dr. Geraldo Costa e Dr. Paulo César Paiva que, de uma forma ou de outra, contribuíram e muito para o alcance deste objetivo.

À amiga e professora Dra. Maria das Graças Carvalho Moura e Silva, pela amizade e carinho.

Ao querido amigo Edmarcos Correa de Oliveira, pela amizade, incentivo e ensinamentos.

Ao empresário Sr. Alderico Pinheiro de Campos, pela prestatividade e amizade desde sempre.

Ao grande amigo Ângelo Teixeira Boarini que, por diversas e incansáveis vezes, apoiou nossas idéias com o único objetivo de ajudar-nos.

Ao amigo Lázaro de Oliveira Sobrinho, que contribui de prontidão, sem medir esforços para apoiar este grandioso projeto.

A todos os funcionários do querido Departamento de Zootecnia que, de inúmeras maneiras, contribuíram para a concretização deste sonho.

Ao amigo Ederaldo Bastos, pelo apoio e amizade.

A todos aqueles que não foram citados, mas que contribuíram, mesmo que de forma involuntária para a realização desse tão seletivo sonho, registro aqui a minha **ETERNA GRATIDÃO**.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	i
LISTA DE TABELAS.....	v
RESUMO.....	vi
ABSTRACT.....	vii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	3
2.1 Estrutura vegetal.....	3
2.2 Cal.....	7
2.3 Hidrólise.....	9
2.4 Cana-de-açúcar.....	16
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	21
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	24
4.1 Matéria seca 55°C (MS55).....	24
4.1.1 Fibra em detergente neutro (FDN).....	29
4.1.2 Matéria seca não fibra em detergente neutro (MSnFDN).....	33
4.1.3 Perda matéria seca.....	35
4.1.4 Perda de fibra em detergente neutro.....	38
4.1.5 Perda de matéria seca não fibra em detergente neutro.....	40
4.1.6 Diferença da temperatura da cana-de-açúcar em relação a temperatura ambiente (DifCamb).....	42
4.1.7 Temperatura final.....	45
4.1.8 Digestibilidade da MS em 24 horas.....	47
4.1.8.1 Digestibilidade da MS em 24 horas – tratamento X rodada.....	47
4.1.8.2 Digestibilidade da MS em 24 horas – tratamento X tempo.....	48
4.1.8.3 Digestibilidade da MS em 24 horas – rodada X tempo.....	50
4.2 Digestibilidade da FDN em 24 horas.....	51
4.2.1 Digestibilidade da MSnFDN em 24 horas.....	53
4.3 Digestibilidade da matéria secam em 96 horas.....	55
4.3.1 Digestibilidade da MS em 96 horas – tratamento X rodada.....	55
4.3.2 Digestibilidade da MS em 96 horas – rodada X tempo.....	55
4.3.3 Digestibilidade da FDN em 96 horas.....	56
4.4 Digestibilidade da MSnFDN em 96 horas.....	60
4.5 Implicação.....	62
CONCLUSÕES.....	63
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	64

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	Efeito do tempo de contato sobre a porcentagem de matéria seca 55°C (fresca manhã = \diamond ; hidrolisada manhã = Δ ; fresca tarde = \square ; hidrolisada tarde = \circ), nos diferentes tempos (tempo zero da manhã = 6h e tempo zero da tarde = 18h), juntamente com a temperatura ambiente no período.....	25
FIGURA 2	Efeito do tempo de contato sobre a porcentagem de matéria seca 55°C (fresca manhã = \diamond ; hidrolisada manhã = Δ), nos diferentes tempos (tempo zero da manhã = 6h).....	25
FIGURA 3	Efeito do tempo de contato sobre a porcentagem de matéria seca 55°C (fresca tarde = \square ; hidrolisada tarde = \circ), nos diferentes tempos (tempo zero da tarde = 18h).....	26
FIGURA 4	Efeito do tempo de contato sobre a porcentagem de FDN (fresca manhã = \diamond ; hidrolisada manhã = Δ ; fresca tarde = \square ; hidrolisada tarde = \circ), nos diferentes tempos (tempo zero da manhã = 6h e tempo zero da tarde = 18h), juntamente com a temperatura ambiente no período.....	29
FIGURA 5	Efeito do tempo de contato sobre a porcentagem de FDN (fresca manhã = \diamond ; hidrolisada manhã = Δ), nos diferentes tempos (tempo zero da manhã = 6h).....	30
FIGURA 6	Efeito do tempo de contato sobre a porcentagem de FDN (fresca tarde = \square ; hidrolisada tarde = \circ), nos diferentes tempos (tempo zero da tarde = 18h).....	30
FIGURA 7	Efeito do tempo de contato sobre a porcentagem de MSnFDN (fresca manhã = \diamond ; hidrolisada manhã = Δ ; fresca tarde = \square ; hidrolisada tarde = \circ), nos diferentes tempos (tempo zero da manhã = 6h e tempo zero da tarde = 18h), juntamente com a temperatura ambiente no período.....	33
FIGURA 8	Efeito do tempo de contato sobre a porcentagem de MSnFDN (fresca manhã = \diamond ; hidrolisada manhã = Δ) nos diferentes tempos (tempo zero da manhã = 6h).....	34
FIGURA 9	Efeito do tempo de contato sobre a porcentagem de MSnFDN (fresca tarde = \square ; hidrolisada tarde = \circ), nos diferentes tempos (tempo zero da tarde = 18h).....	34
FIGURA 10	Efeito do tempo de contato sobre a porcentagem de perda de MS (fresca manhã = \diamond ; hidrolisada manhã = Δ ; fresca tarde = \square ; hidrolisada tarde = \circ), nos diferentes tempos (tempo zero da manhã = 6h e tempo zero da tarde = 18h), juntamente com a temperatura ambiente.....	36
FIGURA 11	Efeito do tempo de contato sobre a porcentagem de perda de MS (fresca manhã = \diamond , hidrolisada manhã = Δ), nos diferentes tempos (tempo zero da manhã = 6h).....	36
FIGURA 12	Efeito do tempo de contato sobre a porcentagem de perda de MS (fresca tarde = \square ; hidrolisada tarde = \circ), nos diferentes tempos (tempo zero da tarde = 18h).....	37

FIGURA 13	Efeito do tempo de contato sobre a porcentagem de perda de FDN (fresca manhã = \diamond ; hidrolisada manhã = Δ ; fresca tarde = \square ; hidrolisada tarde = \circ), nos diferentes tempos (tempo zero da manhã = 6h e tempo zero da tarde = 18h), juntamente com a temperatura ambiente no período.....	38
FIGURA 14	Efeito do tempo de contato sobre a porcentagem de perda de FDN (fresca manhã = \diamond ; hidrolisada manhã = Δ), nos diferentes tempos (tempo zero da manhã = 6h).....	39
FIGURA 15	Efeito do tempo de contato sobre a porcentagem de perda de FDN (fresca tarde = \square ; hidrolisada tarde = \circ), nos diferentes tempos (tempo zero da tarde = 18h).....	39
FIGURA 16	Efeito do tempo de contato sobre a porcentagem de perda de MSnFDN (fresca manhã = \diamond ; hidrolisada manhã = Δ ; fresca tarde = \square ; hidrolisada tarde = \circ), nos diferentes tempos (tempo zero da manhã = 6h e tempo zero da tarde = 18h), juntamente com a temperatura ambiente no período.....	40
FIGURA 17	Efeito do tempo de contato sobre a porcentagem de perda de MSnFDN (fresca manhã = \diamond ; hidrolisada manhã = Δ), nos diferentes tempos (tempo zero da manhã = 6h).....	41
FIGURA 18	Efeito do tempo de contato sobre a porcentagem de perda de MSnFDN (fresca tarde = \square ; hidrolisada tarde = \circ), nos diferentes tempos (tempo zero da tarde = 18h).....	41
FIGURA 19	Efeito do tempo de contato sobre a diferença da temperatura da cana-de-açúcar menos a temperatura ambiente (fresca manhã = \diamond ; hidrolisada manhã = Δ), nos diferentes tempos (tempo zero da manhã = 6h).....	43
FIGURA 20	Efeito do tempo de contato sobre a diferença da temperatura da cana-de-açúcar menos a temperatura ambiente (fresca manhã = \diamond ; hidrolisada manhã = Δ), nos diferentes tempos (tempo zero da manhã = 6h).....	43
FIGURA 21	Efeito do tempo de contato sobre a diferença da temperatura da cana-de-açúcar menos a temperatura ambiente (fresca tarde = \square ; hidrolisada tarde = \circ), nos diferentes tempos (tempo zero da tarde = 18h).....	44
FIGURA 22	Efeito do tempo de contato sobre a temperatura final da cana-de-açúcar (fresca manhã = \diamond ; hidrolisada manhã = Δ ; fresca tarde = \square ; hidrolisada tarde = \circ), nos diferentes tempos (tempo zero da manhã = 6h e tempo zero da tarde = 18h), juntamente com a temperatura ambiente.....	45
FIGURA 23	Efeito do tempo de contato sobre a temperatura final da cana-de-açúcar (fresca manhã = \diamond ; hidrolisada manhã = Δ), nos diferentes tempos (tempo zero da manhã = 6h).....	46
FIGURA 24	Efeito do tempo de contato sobre a temperatura final da cana-de-açúcar (fresca tarde = \square ; hidrolisada tarde = \circ), nos diferentes tempos (tempo zero da tarde = 18h).....	46
FIGURA 25	Efeito do tempo de contato sobre a digestibilidade, em 24	

	horas, da cana-de-açúcar fresca (○) e da cana-de-açúcar hidrolisada (□), independente do horário de moagem.....	49
FIGURA 26	Efeito do tempo de contato sobre a digestibilidade em 24 horas da cana-de-açúcar moída pela manhã (◇) e a cana-de-açúcar moída a tarde (□), independente do tratamento.....	50
FIGURA 27	Efeito do tempo de contato sobre a digestibilidade da FDN em 24 horas da cana-de-açúcar (fresca manhã = ◇; hidrolisada manhã = Δ; fresca tarde = □; hidrolisada tarde = ○), nos diferentes tempos (tempo zero da manhã = 6h e tempo zero da tarde = 18h), juntamente com a temperatura ambiente no período.....	51
FIGURA 28	Efeito do tempo de contato sobre a digestibilidade da FDN em 24 horas, da cana-de-açúcar (fresca manhã = ◇; hidrolisada manhã = Δ), nos diferentes tempos (tempo zero da manhã = 6h).....	52
FIGURA 29	Efeito do tempo de contato sobre a digestibilidade da FDN, em 24 horas, da cana-de-açúcar (fresca tarde = □; hidrolisada tarde = ○), nos diferentes tempos (tempo zero da tarde = 18h)..	52
FIGURA 30	Efeito do tempo de contato sobre a digestibilidade da MSnFDN, em 24 horas, da cana-de-açúcar (fresca manhã = ◇; hidrolisada manhã = Δ; fresca tarde = □; hidrolisada tarde = ○), nos diferentes tempos (tempo zero da manhã = 6h e tempo zero da tarde = 18h), juntamente com a temperatura ambiente no período.....	53
FIGURA 31	Efeito do tempo de contato sobre a digestibilidade da MSnFDN, em 24 horas, da cana-de-açúcar (fresca manhã = ◇; hidrolisada manhã = Δ), nos diferentes tempos (tempo zero da manhã = 6h).....	54
FIGURA 32	Efeito do tempo de contato sobre a digestibilidade da MSnFDN, em 24 horas, da cana-de-açúcar (fresca tarde = □; hidrolisada tarde = ○), nos diferentes tempos (tempo zero da tarde = 18h).....	54
FIGURA 33	Digestibilidade da MS, em 96 horas de incubação da cana-de-açúcar, considerando apenas o efeito da interação rodada X tempo. Cana-de-açúcar moída pela manhã (◇) e a cana-de-açúcar moída à tarde (□), independente do tratamento.....	56
FIGURA 34	Efeito do tempo de contato sobre a digestibilidade da FDN em 96 horas da cana-de-açúcar (fresca manhã = ◇; hidrolisada manhã = Δ; fresca tarde = □; hidrolisada tarde = ○), nos diferentes tempos (tempo zero da manhã = 6h e tempo zero da tarde = 18h), juntamente com a temperatura ambiente no período.....	57
FIGURA 35	Efeito do tempo de contato sobre a digestibilidade da FDN em 96 horas da cana-de-açúcar (fresca manhã = ◇; hidrolisada manhã = Δ), nos diferentes tempos (tempo zero da manhã =	

	6h).....	58
FIGURA 36	Efeito do tempo de contato sobre a digestibilidade da FDN em 96 horas da cana-de-açúcar (fresca tarde = □; hidrolisada tarde = ○), nos diferentes tempos (tempo zero da tarde = 18h).....	58
FIGURA 37	Efeito do tempo de contato sobre a digestibilidade da MSnFDN em 96 horas da cana-de-açúcar (fresca manhã = ◇; hidrolisada manhã = Δ; fresca tarde = □; hidrolisada tarde = ○), nos diferentes tempos (tempo zero da manhã = 6h e tempo zero da tarde = 18h), juntamente com a temperatura ambiente no período.....	60
FIGURA 38	Efeito do tempo de contato sobre a digestibilidade da MSnFDN em 96 horas da cana-de-açúcar (fresca manhã = ◇; hidrolisada manhã = Δ), nos diferentes tempos (tempo zero da manhã = 6h).....	61
FIGURA 39	Efeito do tempo de contato sobre a digestibilidade da MSnFDN em 96 horas da cana-de-açúcar (fresca tarde = □; hidrolisada tarde = ○), nos diferentes tempos (tempo zero da tarde = 18h).....	61

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	Valores médios (LSMEAN) em percentagem dos dois tratamentos (fresca e hidrolisada) e duas rodadas (manhã e tarde) para as diferentes variáveis analisadas com cada erro-padrão e probabilidades.....	28
TABELA 2	Digestibilidade média (LSMEAN) da cana-de-açúcar nos dois tratamentos e nas duas rodadas (horário de moagem).....	48
TABELA 3	Digestibilidade média (residual, neste caso: 100-residual) da MS, em 96 horas (residual em %) de incubação da cana-de-açúcar, em diferentes tratamentos e rodadas.....	55

RESUMO

CHALFUN, Luthesco Haddad Lima. **Adição de cal sobre a cana-de-açúcar: perda de nutrientes e digestibilidade.** 2008. 69p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG¹

A cana-de-açúcar é um alimento de alta capacidade de produção de matéria seca por hectare, alto conteúdo energético por unidade de matéria seca produzida. Mas, esse potencial é limitado pela sua baixa digestibilidade. A cal alteraria a biodegradabilidade da fibra da cana-de-açúcar. O objetivo deste trabalho foi definir o tempo ótimo de contato da cana-de-açúcar fresca com 1% de cal, para que seja observada melhora da digestibilidade ruminal da matéria seca e da fibra em detergente neutro. Uma amostra de cana-de-açúcar foi colhida na tarde do dia anterior e moída (manualmente) em picadora de forragem estacionária às seis horas da manhã do dia seguinte (dia experimental). Metade da forragem foi mantida fresca (*in natura*) e metade foi tratada com 1% da matéria natural de cal micropulverizada diluída em água. Os tempos de amostragem, além do tempo zero, foram de 6 em 6 horas até 120 horas após a moagem. Uma segunda rodada experimental foi colhida na manhã do dia experimental, moída às seis horas da tarde do mesmo dia e amostrada nos mesmos tempos (da primeira rodada) após a moagem. Independente do tempo e do tratamento, a cana-de-açúcar moída à tarde perdeu menos matéria seca que a cana-de-açúcar moída pela manhã. A cana-de-açúcar fresca apresentou maior digestibilidade da matéria seca em 24 horas que a cana-de-açúcar hidrolisada com o passar do tempo. A cana-de-açúcar moída à tarde mantida fresca apresentou a melhor média de matéria seca a 55°C, fibra em detergente neutro e matéria seca não fibra em detergente neutro, diferença de temperatura, digestibilidade da matéria seca em 24 horas e digestibilidade da fibra em detergente neutro em 24 horas. A menor perda de matéria seca em fibra em detergente neutro ocorreu na cana-de-açúcar moída pela manhã. A maior digestibilidade da matéria seca em fibra em detergente neutro ocorreu com a cana-de-açúcar fresca pela manhã. A cana-de-açúcar fresca moída à tarde foi a melhor na maioria das variáveis.

¹ Comitê de Orientação: Professor Dr. José Camisão de Souza (orientador), Prof. Dr. Marcos Neves Pereira (UFLA).

ABSTRACT

CHALFUN, Luthesco Haddad Lima. **Sugar cane hydrolisis:** nutrient and digestibility losses. 2008. 69p. Dissertation (Masters by Animal Science) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG²

Sugar cane is a feedstuff with high dry matter production capacity per hectare, high energetic content per unit of dry matter produced. Such potential, however, is limited by its low digestibility. Alkalinizing agents, such as quicklime, are used to maintain the sugar cane nutritional qualities for a few hours or even days without the need to harvest it daily, besides improving its fibrous portion, leading to an increase in animal intake. Quicklime would alter the biodegradability of sugar cane fiber. The objective was to define the optimum time of contact between fresh sugar cane and a 1% quicklime solution in water, aiming to improve dry matter ruminal digestibility and neutral detergent fiber (NDF). On a first experimental round, a large sugar cane sample was collected manually in the afternoon and chopped at 6:00 AM of the ensuing day. Half of the sample was kept fresh (*in natura*) and half treated with the quicklime solution by micro-pulverization. From each originally treated sample, twenty one sub-samples were collected every 6 hours, from 0 to 120 hours post chopping. On a second experimental round, the large sample was harvested in the morning, chopped at six PM and sub-samples taken as in round one. Independently of contact time and treatment, dry matter loss was lower for the sugar cane chopped in the afternoon. Dry matter digestibility at 24 hours was higher for fresh sugar cane. NDF at 96 hours was higher for hydrolyzed compared to fresh sugar cane. Dry matter content at 55°C, NDF and non-fibrous dry matter NDF, temperature difference, 24 hour-dry matter digestibility, and NDF digestibility were reduced by hydrolysis. Lower NDF losses, final temperatures and smaller digestibility residuals at 96 hours were observed in the hydrolyzed sugar cane harvested in the morning. Morning harvesting resulted in smaller NDF dry matter losses. Higher NDF dry matter digestibilities occurred in the morning harvested sugar cane. It is concluded that harvesting sugar cane in the morning and chopping it in the afternoon was the best combination for maintaining most of its qualities as feedstuff for ruminants.

² Guidance Committee: Professor Dr. José Camisão de Souza (Advisor), Prof. Dr. Marcos Neves Pereira (UFLA).

1 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar é um alimento de elevada produtividade, capaz de conciliar alta capacidade de produção de matéria seca por hectare ao alto conteúdo energético por unidade de matéria seca produzida, com baixa frequência de corte.

Outras características importantes a serem consideradas são a simples introdução, condução e manutenção da lavoura. É uma cultura considerada semiperene que, dependendo da forma de condução, pode produzir por alguns anos consecutivos, sem a necessidade de replantio anual.

A cana-de-açúcar apresenta alto teor de sacarose, moderado teor de fibra em detergente neutro (FDN), justificando seu uso em muitas dietas. É uma forrageira que tem sua fração fibrosa como uma fonte potencial de energia de baixo custo para os ruminantes, mas esse potencial é limitado pela sua baixa digestibilidade. Além disso, nos tradicionais sistemas de produção animal, a cana-de-açúcar é utilizada na forma de capineira. Nessas empresas, a forragem é colhida fresca, moída e imediatamente fornecida aos animais. Mas, o corte diário, principalmente em larga escala, tem sido considerado desestimulante para o uso desse recurso forrageiro. A utilização da cana-de-açúcar fresca mantida por determinado período estocada antes do fornecimento aos animais ocasiona fermentação, aquecimento do material e perdas de nutrientes, diminuindo seu potencial de resposta zootécnica.

Com a finalidade de melhorar a qualidade de alimentos fibrosos e, além disso, propiciar o armazenamento por períodos curtos de tempo da forragem moída, procurou-se desenvolver métodos de tratamento que promovessem o rompimento da estrutura fibrosa da cana-de-açúcar, tornando-a mais digestível e melhorando seu aproveitamento. O agente alcalinizante, como a cal, é utilizado

no intuito de manter as qualidades nutricionais da cana-de-açúcar por algumas horas ou, até mesmo, dias, sem a necessidade de corte diário, além de melhorar sua porção fibrosa de modo a aumentar o consumo por parte dos animais, melhorando as respostas dos mesmos. Utilizando a cal, vários fatores podem afetar a hidrólise da cana-de-açúcar, dentre eles o tempo de contato.

A cal alteraria a biodegradabilidade da fibra da cana-de-açúcar. O valor energético da forragem pode ser alterado se a parede celular da célula for modificada. O uso de substâncias alcalinizantes, como a cal, visa, dentre outros fatores, melhorar a alocação de recursos da propriedade e maximizar o uso de mão-de-obra e de equipamentos, sem perder qualidade da forrageira, podendo melhorar a qualidade da mesma.

A influência da hidrólise com cal sobre a perda de matéria natural e, conseqüentemente, perda de matéria seca além da digestibilidade de seus nutrientes incentiva os pesquisadores a quantificá-la.

Este trabalho foi realizado com o objetivo de definir o tempo ótimo de contato da cana-de-açúcar fresca com 1% de cal, para que seja observada melhora da digestibilidade ruminal da matéria seca e da FDN.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Estrutura vegetal

Em relação à composição estrutural dos vegetais, os polissacarídeos estruturais constituem-se, basicamente, de polímeros de pentoses (arabinose e xilose) e hexoses (glicose, frutose e galactose), unidades básicas que se combinam, dando origem a dois grupos principais, β -glicanos e heteroglicanos. No primeiro se encontra a celulose e, no segundo, as pectinas e as hemiceluloses, formando a fração insolúvel também chamada de polissacarídeos não amiláceos. Estes carboidratos, juntamente com a lignina (polímero aromático de ésteres fenólicos), constituem as principais frações da “fibra” (Jung, 1997).

Durante desenvolvimento inicial de células vegetais, o crescimento é em tamanho. Nesta fase, a parede celular é chamada de parede primária e é capaz de se prolongar porque os polímeros da parede não estão inter cruzados. A lamela média é a região entre células adjacentes e é principalmente composta de pectinas, que são um grupo de polímero galacturônicos. As leguminosas contêm grandes quantias de pectina, considerando que gramíneas têm, relativamente, baixas concentrações. A parede primária consiste em vários polissacarídeos, inclusive celulose, ligados à mistura de β -glicanos, heteroglicanos, glicuronarabinoxilanas e heteroxilanas (Jung, 1997). As xilanas são muito mais abundantes em paredes de gramíneas que em leguminosas. Polissacarídeos de pectinas de leguminosa são constituídas por quantidades pequenas de ferulato e ésteres de p-cumarato. Em contraste, a parede primária em gramíneas tem concentrações altas de ferulato esterificado a arabinoxilanas e menos concentrações de ésteres de p-cumarato. Também são depositadas proteínas estruturais e de outros tipos na parede primária de plantas.

Quando a célula vegetal deixa de crescer e inicia o processo de maturação, a deposição de parede secundária e a lignificação começam. A celulose é o polissacarídeo principal depositado na parede secundária. As gramíneas continuam depositando xilanas, porém, o grau de substituição de xilanas declina, se comparada com estes polissacarídeos na parede primária. O metil-glicuronoxilana é o principal polissacarídeo não-celulósico em paredes secundárias de leguminosas. A lignificação acontece através da lamela média e da parede primária; ela prossegue, então, pela região de parede primária e na parede secundária, mas a deposição de lignina sempre fica atrás da deposição de polissacarídeos na parede secundária. O resultado deste padrão de desenvolvimento é que o polissacarídeo mais recentemente depositado na parede não é lignificado. Lignina é um polímero composto de precursores de álcool de cinamil. Derivados de lignina guaiacil é o tipo predominante de lignina na parede primária, considerando que a parede secundária é relativamente mais rica em lignina de siringil (Jung, 1997).

A fibra dietética, também denominada de parede celular vegetal, constitui-se quimicamente de polissacarídeos estruturais fibrosos, como a celulose e a hemicelulose, que, normalmente, encontram-se associadas a substâncias pécticas, além de substâncias não glicídicas, tais como ligninas, sílica, ácido fítico, cutina e taninos. Foi verificada, em menores proporções, a presença de substâncias amiláceas e glicoproteínas, conforme a natureza do material vegetal.

A celulose pode ser caracterizada como um homopolissacarídeo de alto peso molecular, de cadeia linear e de elevado grau de polimerização das unidades de celobiose β -D-glicopiranoose, que são ligadas umas às outras por ligações glicosídicas (β 1 \rightarrow 4). As suas cadeias apresentam entre 4.000 a 10.000 unidades de D-glicose anidra.

A celulose está estruturalmente ligada à hemicelulose e à lignina, não sendo, assim, um substrato facilmente acessível. Fisicamente, a celulose é um material sólido e branco que existe no estado amorfo-cristalino. A forma cristalina é resistente ao ataque químico e à degradação microbiana, enquanto a forma amorfa é primeiramente atacada e degradada. Possui configuração alongada e agrega-se lado a lado, formando microfibrilas insolúveis, unidas por fortes ligações inter e intramoleculares, como as pontes de hidrogênio, impregnadas por uma matriz de propriedades cimentantes que formam uma rede fibrilar cristalina, geralmente associada à lignina, apresentando-se insolúvel em meio alcalino, mas solúvel em meio ácido. A relação lignina/celulose determina a intensidade de degradação microbiana da parede celular, igualmente condicionada pela presença de outras substâncias incrustantes como a sílica e a cutina, além de fatores macromoleculares intrínsecos da própria celulose, como a cristalinidade e especificidade de suas ligações químicas, tanto para ruminantes como em não-ruminantes (Van Soest, 1994).

As hemiceluloses são um grupo misto de polissacarídeos não celulósicos lineares e ou ramificados que compreende dois grandes grupos: pentosanos e hexosanos. Os pentosanos são constituídos de unidades de pentoses (D-xilose, L-arabinose) e os hexosanos são constituídos de unidades de hexoses (D-glucose, D-galactose, D-manose). Também apresentam pequenas quantidades de L-ramnose, L-fucose e, ainda, desoxi-hexoses e ácidos urônicos: ácido D-glicurónico, ácido 4-O-metil-D-glicurónico e ácido D-galacturónico.

Os monossacarídeos ligam-se uns aos outros, essencialmente, por ligações glicosídicas β -(1 \rightarrow 4), mas também se podem encontrar ligações glicosídicas β -(1 \rightarrow 3), β -(1 \rightarrow 6), α -(1 \rightarrow 2), α -(1 \rightarrow 3) e α -(1 \rightarrow 6). Devido ao baixo grau de polimerização e à sua natureza amorfa, as hemiceluloses são degradadas mais facilmente do que a celulose. Apesar disso, ainda é necessário um sistema

enzimático complexo para a sua degradação, devido à sua estrutura variável e ramificada (Jung, 1997).

Tal como a celulose, grande parte da função das hemiceluloses é dar resistência à parede celular, atuando como matriz de suporte para as microfibrilhas de celulose (Kirk & Fareel, 1987). Fisicamente, é um material sólido e branco, raramente cristalino ou fibroso. São muito mais solúveis e susceptíveis à degradação química. O baixo peso molecular faz com que sejam solúveis em soluções alcalinas diluídas a altas temperaturas. As hemiceluloses e a lignina são ligadas covalentemente.

A lignina constitui-se de polímeros condensados de diferentes álcoois fenilpropanóides p-cumárico, coniferílico e o sinapílico, além do ácido ferúlico, unidos por ligações do tipo éter ou ligações covalentes entre os núcleos benzênicos ou aliados aos radicais propano. A proporção desses componentes é irregular entre as plantas e eles estão presentes em maior proporção na parede celular secundária, cujas principais funções são a de suporte estrutural e de resistência física às plantas. A lignina é encontrada entre as células e a parede celular e é resistente ao ataque biológico, uma vez que não apresenta ligações que sejam hidrolizáveis. É um polímero de estrutura amorfa, aromática, altamente ramificada e insolúvel em água. Apresenta-se sob uma rede tridimensional com ligações cruzadas. É um heteropolímero complexo, constituído por unidades de fenilpropano que apresenta um elevado peso molecular. Durante o tratamento químico, a sua remoção permite que as fibras de celulose e hemicelulose sejam separadas facilmente (Jung, 1997).

A lignina está presente em pequenas quantidades em forragens tenras ou jovens, tendendo a aumentar em função do estado de maturação das plantas e do ambiente em que se desenvolvem, assim como subprodutos agrícolas que incluem talos, cascas e palhas (Hatfield, 1989; Jung, 1989). A lignina é biossintetizada nas plantas por uma seqüência de reações ramificadoras,

iniciando-se com a formação de carboidratos derivados de CO₂ via fotossíntese. Devido à característica de indigestibilidade da lignina e seus efeitos sobre a digestão da parede celular e dos demais nutrientes, deve-se estar atento às diferenças intrínsecas de sua composição, à complexação com outros compostos e à precisão de sua mensuração. No caso das gramíneas, ocorrem ligações ésteres entre os grupos ácidos das ligninas e xilanas, enquanto nas leguminosas ocorrem ligações glicosídicas entre grupos álcoois da lignina, indicando que estas diferenças são importantes para a compreensão da degradação dos componentes fibrosos.

2.2 Cal

O calcário, depois de extraído, selecionado e moído, é submetido a elevadas temperaturas em fornos industriais, num processo conhecido como calcinação, que dá origem a CaO (óxido de cálcio: cal) e CO₂ (gás carbônico). A equação química dessa calcinação é: $\text{CaCO}_3 + \text{Calor} \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$.

Para que essa reação ocorra, a temperatura do forno da caieira (indústria produtora de cal) deve ser de, no mínimo, 850°C, mas a eficiência total da calcinação se dá à temperatura de 900°C a 1.000°C. Essa temperatura é garantida pela queima de um combustível que pode ser lenha, óleo combustível, gás natural, carvão e material reciclado. Para a obtenção da cal hidratada, é necessário promover a reação da cal virgem com água: $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{Ca(OH)}_2$.

A maioria da cal produzida no Brasil resulta da calcinação de calcários dolomitos e tem pureza variável. Em geral, na região sul-sudeste predominam as cales provenientes de dolomíticos e calcários magnesianos e, na região nordeste-norte-centro, as resultantes de calcários calcíticos.

O principal produto da calcinação das rochas carbonatadas cálcicas e cálcio-magnesianas é a cal virgem, também denominada cal viva ou cal ordinária. O termo cal virgem é o consagrado na literatura brasileira e nas

normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas para designar o produto composto, predominantemente, por óxido de cálcio e óxido de magnésio, resultantes da calcinação, à temperatura de 900°C a 1.200°C, de calcários, calcários magnesianos e dolomíticos. A cal virgem é classificada conforme o óxido predominante como indicado a seguir:

- cal virgem cálcica: óxido de cálcio entre 100% e 90% dos óxidos totais presentes;
- cal virgem magnesianas: teores intermediários de óxido de cálcio, entre 90% e 65% dos óxidos totais presentes;
- cal virgem dolomítica: teores de cálcio entre 65% e 58% dos óxidos totais presentes.

No mercado global da cal, a cal virgem cálcica predomina, particularmente pela sua aplicação nas áreas das indústrias siderúrgicas, de açúcar e de celulose. Todas elas são comercializadas em recipientes (plásticos, metálicos e outros) ou a granel, na forma de blocos (tal como sai do forno), britada (partículas de diâmetro 1 a 6 cm) ou moída e pulverizada (85% a 95% passando na peneira com crivo de 0,150 mm).

Outro tipo de cal muito comum no mercado é a cal hidratada. Ela é composta por um pó de cor branca, resultante da combinação química dos óxidos anidros da cal virgem com a água. É classificada conforme o hidróxido predominante presente ou, melhor, de acordo com a cal virgem que lhe dá origem, em:

- cal hidratada cálcica;
- cal hidratada magnesianas;
- cal hidratada dolomítica .

O óxido de cálcio e o hidróxido de cálcio surgem como alternativa segura e de baixo custo, se comparados ao hidróxido de sódio, no uso na

alimentação animal, dependendo de trabalhos que comprovem sua eficiência e subsidiem a sua utilização pelos produtores e recomendação pelos técnicos.

2.3 Hidrólise

Os tratamentos hidrolíticos têm sido usados para aumentar o valor nutricional das forragens na Europa, desde o século XIX. As primeiras tentativas desse aumento da digestibilidade da palha pelo método químico foram feitas no fim desse mesmo século (Sundstøl, 1988). Esses tratamentos, normalmente, eram utilizados em palhas de diversas culturas, em especial palhas de trigo. Diante da situação de melhorar a qualidade da forragem e, com isso, melhorar o desempenho animal, testaram-se diversos métodos, entre eles o uso de substâncias alcalinas.

Os primeiros métodos de tratamento, segundo Jackson (1977), envolviam cozimento à pressão de palhas em soluções diluídas de hidróxido de sódio, seguido de lavagem com água limpa para remover o álcali. Mais tarde, Beckmann (1921, citado por Jackson, 1977) substituiu o cozimento a vapor pela simples colocação do material de molho em água fria, para reduzir custo, apesar da qualidade do material tratado ser menor. No primeiro processo, o produto resultante tinha digestibilidade de cerca de 70%. No entanto, com custos elevados e perda de 25% da MS original, isso torna as palhadas tratadas por este método mais caras, em muitas situações, que alimentos convencionais, sendo assim raramente empregado.

Os resíduos de colheitas, como, por exemplo, as palhas e as forragens de modo geral, mas, principalmente, as de má qualidade, podem ter um aumento do seu valor nutritivo e, conseqüentemente, um maior desempenho animal, mas dependem de algumas práticas que podem causar efeito sobre essa fonte de alimento. Dentre essas práticas, se destacam a época de colheita, a seleção genética e os tratamentos físicos e químicos.

Numerosos métodos de tratamentos químicos têm sido desenvolvidos para forragens, sendo o principal o tratamento por agente hidrolítico e oxidativos. Cada um desses processos de tratamento exerce efeitos distintos na estrutura e na composição da parede celular da planta. Uma das alternativas para manter e ou melhorar o valor nutritivo da cana-de-açúcar é a hidrólise química, na qual objetiva-se, além de conservar, melhorar o coeficiente de digestibilidade da mesma. Muitas substâncias hidrolíticas ou para a conservação da cana-de-açúcar podem ser utilizadas. Dentre elas, destacam-se hidróxido de sódio (NaOH), hidróxido de amônio (NH₄OH) e óxido de cálcio (CaO).

Há varias reações químicas durante o tratamento alcalino: saponificação entre ligações éster do ácido acético e ácido fenólico, polissacarídeos e ou lignina como também entre ligações dos ácidos urônicos; saponificação de ligações éster intermolecular entre xilanas e hemiceluloses e outros componentes como, por exemplo, lignina e hemicelulose, solubilização parcial da hemicelulose, lignina, sílica e a hidrólise do éster ácido acético e urônico (Berger et al., 1994) e a ocorrência de saponificação de uniões éster entre ácido acético e ácidos fenólicos, e polissacarídeos e ou lignina, bem como uniões como tal entre resíduos de ácidos urônico de xilanas na hemicelulose e lignina (Ribeiro, 1991).

A aplicação de álcalis é feita pelo fato de a lignina de gramíneas ser particularmente susceptível ao ataque hidrolítico dos mesmos, em ligações covalentes do tipo éster entre lignina e a parede celular (Van Soest, 1994). A celulose não é dissolvida, mas se expande quando tratada com agentes alcalinos, o que reduz as ligações intermoleculares das pontes de hidrogênio (Jackson, 1977; Berger et al., 1994).

Parte da lignina e sílica é dissolvida durante a hidrólise alcalina e as ligações intermoleculares do tipo éster entre o ácido urônico da hemicelulose e da celulose são também rompidas, resultando em um rompimento da parede

celular e em aumento na sua hidratação (Van Soest, 1994; Goto & Yokoe, 1996; Oliveira et al., 2006).

O aumento de digestibilidade dos resíduos tratados está relacionado com o aumento na digestibilidade da celulose presente. Além disso, a proporção de celulose nos resíduos tratados é maior que naqueles não tratados, enquanto a proporção de hemicelulose é menor. E, uma vez que a digestibilidade da hemicelulose é cerca de 20% inferior à da celulose, tanto antes quanto depois do tratamento (Jackson, 1977), essa mudança nas proporções também contribui para o aumento da digestibilidade após tratamento.

A celulose sofre um aumento de volume em função do tratamento com álcali (Jackson, 1977). O álcali reduz a resistência das pontes de hidrogênio intermoleculares que mantêm as moléculas de celulose juntas, isto resultando em aumento de volume. As fibras de celulose dentro da matriz celular podem ser fisicamente restritas pelo aumento de volume e o tratamento alcalino provavelmente também remove essas barreiras em alguma extensão. Alguma quantidade, tanto de lignina quanto sílica, é dissolvida e ligações éster intermoleculares entre grupos ácido urônico de hemicelulose e celulose são, provavelmente, hidrolizadas.

A celulose após o aumento de volume deveria ser mais facilmente penetrada pelo fluido ruminal e isso deveria contribuir para a maior digestibilidade da celulose após o tratamento (Gonçalves et al., 1997).

Durante o tratamento alcalino, parte da lignina e da sílica pode ser dissolvida e as ligações intermoleculares do tipo éster, entre o ácido urônico da hemicelulose e da celulose, são também rompidas (Van Soest, 1994).

Novos sistemas de tratamento químico estão sendo pesquisados na Europa e nos Estados Unidos, destacando-se o uso de amônia anidra (NH_3) e de hidróxido de amônio (NH_4OH). Segundo Reis (1993), a amônia anidra é um composto químico que tem características de solvente. De acordo com

Gonçalves et al. (1997), a ação da amônia anidra sobre a fração fibrosa de forrageiras ocorre como descrito a seguir.

1ª reação: - amoniólise

A principal reação que ocorre entre a fração fibrosa e a NH_3 é a amoniólise das ligações do tipo éster, existente entre as cadeias de hemicelulose e os grupos de carboidratos estruturais ou entre moléculas de carboidratos estruturais e a lignina, resultando na formação de amidas (Reis, 1995).



(R carboidrato fibroso)

sendo o R1 carboidrato fibroso, ou átomo de hidrogênio, ou unidade fenilpropano de lignina.

2ª reação: formação do hidróxido de amônio

A alta afinidade entre a NH_3 e a água existente nos volumosos resulta na produção de hidróxido de amônio (NH_4OH) que é uma base fraca



3ª reação: hidrólise alcalina

A partir do hidróxido de amônio pode ocorrer a hidrólise alcalina das ligações tipo éster existente nos volumoso.



(R carboidrato fibroso)

sendo o R1 um carboidrato fibroso, ou átomo de hidrogênio ou unidade fenilpropano de lignina

De acordo com Gonçalves et al. (1997), é importante considerar que, em função do baixo conteúdo de umidade dos volumosos a serem tratados (fenos, resíduos de cultura, forrageira após o florescimento), a hidrólise alcalina tem menor participação no processo de “amonização”, quando se usa NH_3 .

A amonização é efetiva não apenas pelo aumento da concentração de nitrogênio, mas por aumentar a digestibilidade e o consumo. Outra prática bastante comum é a hidrólise com hidróxido de sódio, em que os maiores entraves são o custo de utilização e os riscos operacionais.

Em relação à amonização, segundo Goto & Yokoe (1996), um efeito que aumenta a degradabilidade de palhadas tratadas com amônia é a habilidade da amônia em formar complexo com a celulose, reduzindo a sua cristalinidade por meio de rompimentos das pontes de hidrogênio, aumentando a sua fragilidade e proporcionando melhor digestão enzimática. Esses fatores, juntos, provocam fragmentação mais rápida do material ingerido e melhoram a eficiência dos microrganismos no ataque às partículas.

As plantas jovens têm, normalmente, uma parede celular fina que engrossa quando a planta cresce. Isso resulta numa barreira física para a digestão do conteúdo celular (Ribeiro, 1991). Na cana-de-açúcar, há uma limitação de consumo, principalmente devido ao baixo teor de compostos nitrogenados e alguns minerais e à baixa digestibilidade dos compostos da parede celular, tendo

uma fibra considerada de baixa a péssima qualidade, cuja estrutura limita a digestão microbiana no rúmen.

O valor nutritivo de palhas para ruminantes podem ser aumentados pelo uso de tratamentos químicos e físicos (Kolankaya et al., 1984). O aumento da taxa de hidratação da forragem tratada com agente alcalino também pode contribuir para a melhora na digestibilidade e no consumo. A hidratação da fibra vegetal é necessária primeiramente para a degradação microbiana no rúmen. Além disso, é um importante fator afetando o tempo de colonização por microrganismos da digestão da fibra pelo rúmen. Uma redução do tempo necessário para a hidratação das fibras vegetais presumidamente reduziria o tempo necessário para as bactérias colonizadoras de fibra vegetal e poderiam ser um fator positivo a mais para a extensa colonização de forragens tratadas.

O efeito do tratamento químico nas forragens é, normalmente, estimado pela mensuração da digestibilidade de alimentos tratados por meio da incubação com conteúdo ruminal *in vitro* ou fechados em sacos de náilon suspensos no rúmen (Kolankaya et al., 1984).

A pressão e a temperatura aumentam a eficiência do alcalinizante (Jackson, 1977). Um aumento consistente e marcante foi notado na matéria seca e na digestibilidade de palha tratada com NaOH em fermentações *in vitro*, mas não tão consistente e marcante, quando foi observada *in vivo*. Além disso, o tratamento da palha para a alimentação dos animais não permitiu aumento de consumo e ganho de peso, como poderia ter ocorrido pelo aumento de digestibilidade (Jackson, 1977)

Bass et al. (1981) relataram que palha de aveia tratada com 5% de Ca(OH)_2 , juntamente com 10% de água, não aumentou a digestibilidade. Esse resultado está de acordo com o encontrado por Campos et al. (2007) que hidrolisaram cana-de-açúcar com 0,6% de óxido de cálcio e não teve influencia

da cana-de-açúcar tratada sobre a digestibilidade da mesma em comparação a que não recebeu tratamento.

A hidrólise de uma variedade específica de cana-de-açúcar com óxido de cálcio a 1% causou uma diminuição no teor de FDN e hemicelulose. Segundo Oliveira et al. (2006), a hidrólise com 0,5% de cal causou uma redução nos teores de fibra em detergente neutro e hemicelulose da cana-de-açúcar e estes autores recomendaram não ultrapassar em seis horas o tempo de hidrólise da cana-de-açúcar.

O hidróxido de sódio tinha sido a substância química mais comumente utilizada para a hidrólise no passado. No entanto, por causa do custo, segurança, efeitos na taxa de passagem e mudanças nos níveis de sódio no solo, poucas utilizações são recomendadas e feitas ao redor do mundo.

O hidróxido de cálcio (cal hidratada) não tem as mesmas desvantagens, mas é uma base mais fraca e requer mais tempo de reação (Klopfenstein, 1983). Chaudhry (1998) examinou o efeito do uso de óxido de cálcio e de hidróxido de sódio, juntos e separados em palhas de trigo em diferentes temperaturas e tempos, obteve, como um dos resultados, um aumento da digestibilidade *in vitro*, quando utilizado individualmente.

Lewis et al. (1987), avaliando tratamento alcalino em resíduos agrícolas no intuito de aumentar a digestibilidade ruminal da matéria seca, concluíram que, para a liberação de energia presente nos resíduos agrícolas (nesse caso, palha de trigo), um tratamento químico poderá efetuar uma mudança na ordem estrutural de lignina, celulose e hemicelulose. O tratamento alcalino com peróxido de hidrogênio, juntamente com a dissociação hidrolítica e oxidativa, altera a integridade estrutural da parede celular pela solubilização parcial da lignina e hemicelulose (Gould, 1984).

Álcali, o qual solubiliza a altamente substituída arabinose e as ligações de ácido urônico das hemiceluloses e as ligações éster e éter dos ácidos

fenólicos, também catalisa a degradação pelo H_2O_2 para os seus altamente ativados intermediários, que são capazes de penetrar na organizada estrutura complexa da parede celular e atacar as ligações duplas de carbono dos constituintes fenólicos da lignina. Nesse estudo, obtiveram um aumento na digestibilidade da palha de trigo tratada com peróxido de hidrogênio, sugerindo que uma alteração na forma da celulose resultaria na maior susceptibilidade dos microrganismos.

Além disso, a eliminação química da “proteção” dos componentes, a solubilização dos elementos hidrofóbicos (lignina, cutina e ceras) e a hemicelulose permitiriam a hidratação das cadeias de celulose e, então, um maior estado amorfo é alcançado. Com isso, a celulose amorfa pré-existente na parede celular, que está presente muito mais que a celulose cristalina e está associada com a hemicelulose e a lignina, também beneficiaria com a reação do peróxido de hidrogênio. Os fatores determinantes da taxa de degradação da parede celular são as barreiras físicas (lignina), área disponível para ataque microbiano e hidratação (facilita a entrada de bactérias no lúmen celular por capilaridade).

O tempo adequado de reação da cana-de-açúcar com a cal para a melhoria da digestibilidade, na maioria das vezes, ainda é uma especulação, necessitando de maiores informações. Considerando a possibilidade de melhoria da digestibilidade da fibra da cana-de-açúcar, esse projeto ajudaria a incrementar as informações sobre o uso de agentes alcalinizantes em forrageiras.

2.4 Cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar é opção na alimentação dos ruminantes. O alto conteúdo de sacarose, associado à alta produção de matéria seca por hectare, confere alto potencial de produção de energia por hectare à cana-de-açúcar. É uma forrageira capaz de promover produtividades animais eficientes, devido,

principalmente, a algumas características dessa tradicional cultura, como elevada produtividade a época de colheita na qual a maturação fisiológica da planta é atingida coincide com a época de escassez de alimento na região tropical; ser uma cultura tradicional e de fácil manejo e produzir grande quantidade de energia.

A quantidade de FDN encontrada por Andrade et al. (2004) em 60 genótipos de cana-de-açúcar foi de 49,1% para a cana-de-açúcar, que teve crescimento vegetativo de 12 meses, com tendência para maior teor de FDN em cana-de-açúcar com idade superior a 18 meses, melhor que muita silagem de milho produzida no Brasil. O teor médio de matéria seca da cana-de-açúcar nesse estudo foi de 28,24% e 32,54% de MS, com o máximo e o mínimo, respectivamente. A cana-de-açúcar com 12 meses de idade apresentou maior quantidade de MS em relação à cana-de-açúcar de 18 meses idade. Esses valores demonstram a grande capacidade da cana-de-açúcar de ser um alimento de qualidade para os ruminantes, podendo se considerada melhor que muitas pastagens e ou silagens produzidas.

A cana-de-açúcar apresenta, dentre essas vantagens, baixa quantidade e qualidade protéica. O baixo teor de nitrogênio pode ser um ponto negativo para a forrageira, limitando a sua digestibilidade. A cana-de-açúcar pode suportar diferentes níveis de desempenho animal, dependendo da forma como for suplementada e fornecida, como, por exemplo, ensilagem, fresca ou *in natura* e hidrolisada. A diminuição do valor nutritivo da cana-de-açúcar ensilada foi relatada por Alcântara et al. (1989) que observavam redução na digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS) de 66,4% para 55,3% e, no consumo voluntário, de 7,1% para 5,7% do PV, em ovinos alimentados com rações contendo cana-de-açúcar *in natura* e silagem de cana-de-açúcar, respectivamente.

Em relação à qualidade energética da cana-de-açúcar, os carboidratos não fibrosos (CNF) são praticamente sacarose (Barnes, 1974, citado por Miranda, 2006).

Correa et al. (2003), avaliando o desempenho de vacas Holandesas alimentadas com cana-de-açúcar ou silagens de milho de diferentes texturas de grãos, observaram que a digestibilidade da matéria seca não FDN foi de 79,8%, em uma dieta com cana-de-açúcar, 74,5% em uma dieta com milho dentado colhido na linha preta e 75% de digestibilidade na matéria seca não FDN em uma dieta utilizando milho duro (“flint”) colhido no estágio da metade da linha do leite.

A ingestão voluntária de matéria seca e a utilização de energia digerida da cana-de-açúcar são baixas, apesar da digestibilidade ser considerada de valor intermediário (54-65%) (Boin et al., 1993). A digestibilidade da FDN da cana-de-açúcar é inferior à digestibilidade da FDN de outras gramíneas tropicais. A digestibilidade da FDN da cana-de-açúcar é ao redor de 20%-25%, enquanto a digestibilidade da FDN na silagem de milho é próximo de 40%-50% (Correa et al., 2003).

O consumo e a eficiência da utilização dos nutrientes, principalmente da energia, variam entre os animais. Diante disso, é mais fácil o estabelecimento de valores alimentares para a digestibilidade, ou seja, a digestibilidade tem sido utilizada como variável de qualidade, indicando a proporção do alimento que está apta a ser utilizada pelo animal (Van Soest, 1994).

Numa avaliação de características químicas e agrônômicas da cana-de-açúcar que poderiam ser determinantes do seu valor nutritivo, Teixeira (2004) avaliou vinte clones dessa cultura. Ele relatou que não houve correlação entre o teor de lignina e as estimativas *in situ* da degradabilidade ruminal da FDN e MS. A cana-de-açúcar apresentou teor de lignina ao redor de 6% da MS, que é inferior ao observado na alfafa, que tem ao redor de 8% de lignina na MS, de

acordo com National Reserch Council, NRC (2001). Isso mostra que se for observado apenas o valor dessa substância na forrageira, não se poderá explicar a baixa degradabilidade da FDN.

Em um estudo no qual foram adicionados 0,5% de cal virgem e hidratada na cana-de-açúcar durante 12, 36 e 60 horas de contato, Mota et al. (2007) encontraram influencia da hidrólise com a cal, diminuindo o teor de FDN em, aproximadamente, 11%. Num estudo de Oliveira et al. (2006), a digestibilidade *in vitro* da MS e da FDN de uma determinada variedade de cana-de-açúcar, com a adição de 0,5% de cal hidratada, foi aumentada.

Uma das primeiras demonstrações de que substâncias alcalinizantes pudessem modificar o processo fermentativo de silagens foi realizada por Castrillón et al. (1978), os quais observaram redução na fermentação alcoólica em silagens de cana-de-açúcar tratada com 4% de NaOH.

Os agentes alcalinizantes, como o hidróxido de sódio (NaOH), o hidróxido de cálcio (Ca (OH)₂), a amônia anidra (NH₃) e, mais recentemente, o óxido de cálcio (CaO), são utilizados para melhorar os coeficientes de digestibilidade das palhas e ou resíduos agrícolas, como, por exemplo, o bagaço de cana-de-açúcar (Andrade et al., 2001; Oliveira et al., 2002; Pires et al., 2004).

As vantagens do uso da cana-de-açúcar como alimento para bovinos são amplamente difundidas e segundo Valadares Filho et al. (2002), embora sua utilização seja tradicional, suas limitações nutricionais devem ser, na medida do possível, suplantadas. O conhecimento das limitações nutricionais da cana-de-açúcar e a forma de corrigi-las são condições indispensáveis para superar o ceticismo de técnicos e produtores sobre a utilização da cana-de-açúcar como alimento, atribuído ao seu baixo consumo (Moraes, 2006).

Todas as práticas que possam ser usadas no intuito de maximizar o consumo de matéria seca têm que ser utilizadas e serão determinantes para o sucesso do uso da cana-de-açúcar em animais de alto desempenho. Os agentes

alcalinizantes, como o óxido de cálcio (CaO), é usado no intuito de melhorar os coeficientes de digestibilidade de palhas, resíduos agrícolas e forragens, como, nesse caso, a cana-de-açúcar. Além disso, o corte diário ou quase diário dificulta ou, mesmo, inviabiliza a utilização da cana-de-açúcar em fazendas que trabalham com maior número de animais. Com isso, a hidrólise da cana-de-açúcar poderia, além de outros fatores, propiciar uma melhor alocação de recursos humanos e ou estrutural.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Uma amostra de cana-de-açúcar foi colhida manualmente na tarde do dia anterior e moída (introduzindo manualmente) em picadora de forragem estacionária às seis horas da manhã do dia seguinte (dia experimental). Metade da forragem foi mantida fresca (*in natura*) e metade foi tratada com 1% da matéria natural de cal micropulverizada (produto comercial, com 58% de CaO na sua composição e 4% de uréia) diluída em água (1 quilo de cal em 3 litros de água). Seis amostras da cana-de-açúcar fresca e seis amostras da cana-de-açúcar tratada com cal foram imediatamente congeladas (tempo zero, equivalente a 6 horas da manhã). Para cada tempo de amostragem, seis amostras de cana-de-açúcar com $8,900\text{kg} \pm 0,500\text{kg}$ (média \pm desvio padrão) cada tratamento foram colocadas sem compactação em sacos plásticos transparentes com capacidade aproximada de 20 litros, simulando baldes de plásticos, deixando a extremidade superior aberta, com as bordas dobradas e com o material na parte superior exposto, em contato com o ar. Os sacos ficaram sob galpão coberto, com as laterais sem bloqueio de entrada de ventos e luz solar, durante todo o período experimental.

O peso de cada saco e da amostra inicial foi anotado. Os tempos de amostragem, além do tempo zero, foram: 6, 12, 18, 24, 30, 36, 42, 48, 54, 60, 66, 72, 78, 84, 90, 96, 102, 108, 114 e 120 horas após a moagem (21 tempos). Uma segunda rodada experimental foi colhida na manhã do dia experimental, moída às seis horas da tarde do mesmo dia e amostrada nos mesmos tempos (da primeira rodada) após a moagem. Em cada tempo de amostragem, foi determinada a temperatura do centro da massa de cana-de-açúcar (utilizando um termômetro digital com haste de 30cm), nos seis sacos por tratamento e a temperatura ambiente (termômetro tipo capela). Os sacos foram pesados para a

determinação do peso residual de matéria natural. O conteúdo de cada saco foi completamente evacuado e uma amostra representativa de cada tempo de amostragem foi imediatamente congelada. As amostras congeladas em freezer, a -20°C, foram, posteriormente, desidratadas em estufa com ventilação forçada a 55°C, por 72 horas, moídas em moinho tipo Thomas-Willey com peneira de 5 mm.

O teor de FDN das amostras foi determinado por um ANKON® Fiber Analyser (ANKON Technology Corporation, Fairport, NY), utilizando sacos de TNT (tecido não tecido, com gramatura: 100g/m²), conforme descrito por Casali (2006). O teor de matéria seca não-FDN foi calculado subtraindo-se a FDN da matéria seca total. A perda de matéria seca, de FDN e de matéria seca não-FDN foi calculada pela quantidade residual em cada saco, como proporção da quantidade inicial. A degradabilidade ruminal *in situ* da matéria seca, da FDN e da matéria seca não-FDN em 24 horas e o resíduo após 96 horas de incubação ruminal foram determinados para cada amostra. Para o estudo da degradabilidade ruminal foram utilizadas três vacas não lactantes com cânula ruminal. As vacas foram alimentadas com cana-de-açúcar com 1% de uréia *ad libitum* e suplementadas com 2 kg de concentrado à base de milho e farelo de soja (24% de PB). Amostras de cinco gramas de matéria pré-seca e moída em peneira de 5 mm (as análises foram feitas utilizando esse tamanho de partícula) de cada uma das 504 amostras de cana-de-açúcar foram inseridas em sacos de náilon (failete, 100% poliéster) com dimensões de 9 x 11 cm, utilizando 5g de cana-de-açúcar em cada saco. Os sacos foram fechados com presilhas plásticas e inseridos em duas sacolas de renda de poliéster por vaca. As sacolas continham pesos de chumbo de, aproximadamente, 300 gramas, e foram mantidas conectadas à cânula ruminal de cada vaca por cordões de náilon de 1 metro e foram alojados na região ventral do rúmen. Uma sacola foi removida do rúmen após 24 horas de incubação, para a estimativa da degradabilidade efetiva

em 24 horas, e a segunda, foi removida após 96 horas, para a estimativa da fração indigestível.

Após a retirada do rúmen, as amostras foram imersas em água com gelo e foram imediatamente congeladas após serem lavadas em máquina de lavar com fluxo constante de água até a obtenção de um efluente límpido. O resíduo de matéria seca em cada saco foi determinado por secagem em estufa ventilada, com temperatura de 55°C, por 72 horas. A degradação da matéria seca foi calculada como o desaparecimento de matéria seca em 24 horas de incubação proporcionalmente à matéria seca originalmente incubada. O resíduo de matéria seca foi a matéria seca residual após 96 horas de incubação proporcionalmente à matéria seca incubada. Nos resíduos de incubação, também foi analisado o teor de FDN para cálculo do desaparecimento em 24 horas e da FDN residual após 96 horas de incubação. O mesmo foi calculado para a matéria seca não-FDN.

A análise estatística foi realizada utilizando-se o procedimento GLM do SAS (SAS, 1985) pelo seguinte modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + H_i + T_j + C_k + HT_{ij} + HC_{ik} + TC_{jk} + HTC_{ijk} + e_{ijk}$$

em que:

μ = média geral;

H_i = efeito de horário de moagem ($i = 6$ da manhã, 6 da tarde);

T_j = efeito de tempo de amostragem ($j = 0$ a 120);

C_k = efeito da cal ($k =$ com cal, sem cal);

HT_{ij} = efeito da interação entre horário e tempo

HC_{ik} = efeito da interação entre horário e cal

TC_{jk} = efeito da interação entre tempo e cal

HTC_{ijk} = efeito da interação entre horário, tempo e cal

e_{ijk} = erro experimental, assumido independente e identicamente distribuído em uma distribuição normal com média zero e variância $s\sigma^2$.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Matéria seca 55°C (MS55)

A variação nos teores de MS55 ocorreu nos diferentes tratamentos, com efeito significativo (Tabela 1.0). O teor de MS55 da cana-de-açúcar hidrolisada pela manhã foi relativamente menor do que o teor da cana-de-açúcar fresca em praticamente todos os tempos de contato. Na cana-de-açúcar da tarde, os teores de MS55 apresentaram diferenças menores entre a fresca e a hidrolisada, nos diferentes tempos. O teor de MS55 dos tratamentos da tarde apresentou valor maior do que os tratamentos pela manhã. Isso pode ser explicado pelo dia da colheita da cana-de-açúcar, sendo de partidas diferentes. Independente do tratamento, a moagem à tarde beneficiaria o teor de MS55 da cana-de-açúcar (Figuras 1.0, 2.0 e 3.0), pois o teor de MS médio foi maior para cana-de-açúcar colhida à tarde, independente do tratamento e tempo.

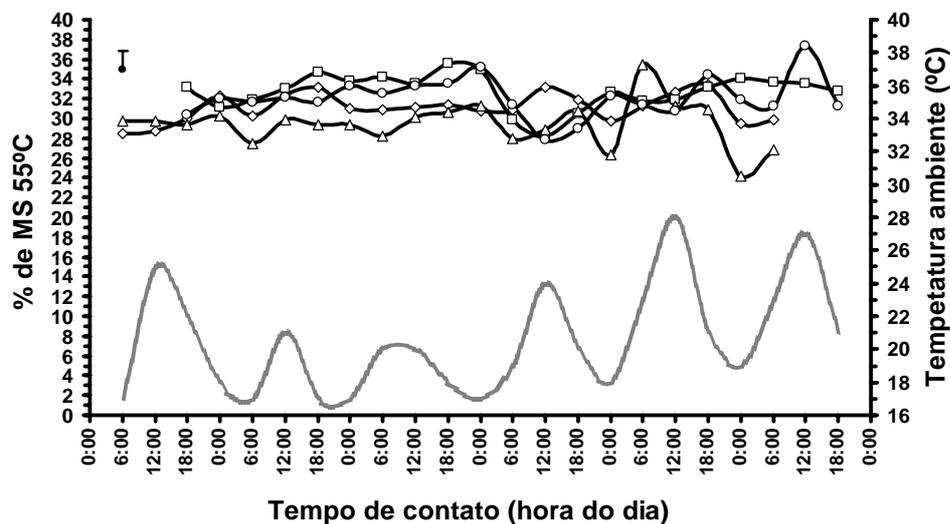


FIGURA 1 Efeito do tempo de contato sobre a porcentagem de matéria seca 55°C (fresca manhã = ◇; hidrolisada manhã = △; fresca tarde = □; hidrolisada tarde = ○), nos diferentes tempos (tempo zero da manhã = 6h e tempo zero da tarde = 18h), juntamente com a temperatura ambiente no período.

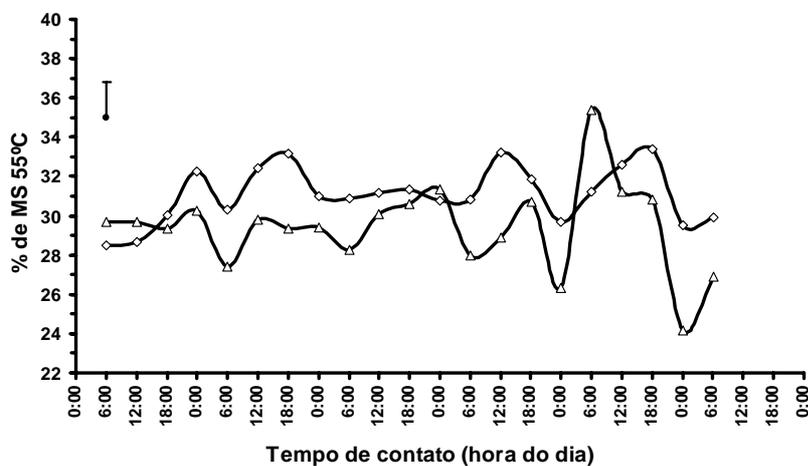


FIGURA 2 Efeito do tempo de contato sobre a porcentagem de matéria seca 55°C (fresca manhã = ◇; hidrolisada manhã = △), nos diferentes tempos (tempo zero da manhã = 6h).

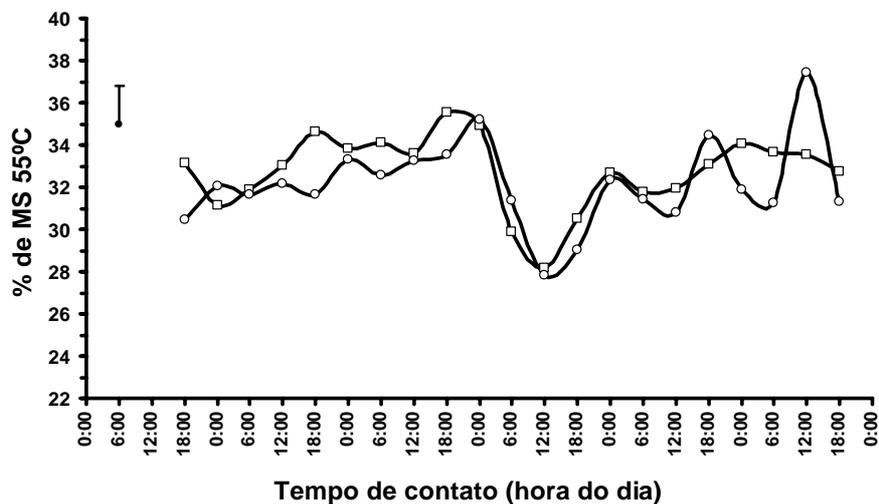


FIGURA 3 Efeito do tempo de contato sobre a porcentagem de matéria seca 55°C (fresca tarde = □; hidrolisada tarde = ○), nos diferentes tempos (tempo zero da tarde = 18h).

Os teores de MS foram maiores para a cana-de-açúcar fresca, coerentemente com o encontrado por Moraes et al. (2006), que utilizaram cana-de-açúcar hidrolisada com 1,0% de Cal por 24 horas, analisando o consumo da mesma em relação à fresca, e obtiveram um teor de MS médio de 27,34%, em comparação à cana-de-açúcar fresca com 28,48% de MS.

As variações de teores de MS podem ser explicadas se considerarmos o longo período de exposição da cana-de-açúcar ao ambiente, sofrendo influências da temperatura e também da umidade. A mesma observação foi feita por Domingues et al. (2007), quando compararam diferentes doses de cal (CaO) em diferentes tempos (horas) de exposição ao ar e encontraram valor maior de MS em 96 horas de exposição da cana-de-açúcar com o ar, devido, principalmente, à secagem natural do material.

Ezequiel et al. (2005) encontraram teor de MS superior para cana-de-açúcar com NaOH em relação ao teor de MS da cana-de-açúcar mantida fresca.

Oliveira et al. (2007) avaliaram a cal hidratada em diferentes níveis e tempos de contato e obtiveram como resultado que a hidrólise não afetou o teor de MS, dentre outros componentes. O mesmo resultado foi encontrado por Mota et al. (2007), que utilizaram dois tipos de cal (hidratada e virgem) e os valores de MS da cana-de-açúcar que recebeu tratamento alcalino e a cana-de-açúcar sem tratamento alcalino não diferiram significativamente.

Oliveira et al. (2006) utilizaram cana-de-açúcar fresca, cana-de-açúcar hidrolisada com 0,5% de cal em pó e em solução, com tempo de contato de três e seis horas. Estes autores relataram um aumento no teor de MS da cana-de-açúcar hidrolisada com 0,5% de cal, mas a forma de aplicação da cal não influenciou esse teor de MS. Relataram, ainda, que, pelo fato de a cal ter sido em solução, presença de água na cal, a quantidade preconizada de cal não foi suficiente para causar alteração na MS, comparativamente à aplicação a seco (somente a cal em pó jogada sobre a cana-de-açúcar picada).

Cavali et al. (2006), utilizando diferentes quantidades de cal na cana-de-açúcar, relataram que o teor de MS das silagens aumentou linearmente com o nível de cal (0%, 0,5%, 1%, 1,5% e 2% na matéria natural). Os autores atribuíram esse aumento à capacidade de retenção de água da cal, resultando, inclusive, em menor produção de efluente com a adição de níveis crescentes de cal.

TABELA 1 Valores médios (LSMEAN) em percentagem dos dois tratamentos (fresca e hidrolisada) e duas rodadas (manhã e tarde) para as diferentes variáveis analisadas com cada erro-padrão e probabilidades.

Variáveis ¹	Manhã		Tarde		EPM	P	P	P	P	P	P	P
	Fresca	Hidrolisada	Fresca	Hidrolisada								
	%	%	%	%								
MS55	31,09	29,42	32,76	32,14	0,180	<,01	<,01	<,01	<,01	<,01	<,01	<,01
FDN	56,64	57,22	54,53	56,27	0,222	<,01	<,01	<,01	<,01	<,01	<,01	0,02
MSnFDN	43,36	42,78	45,47	43,73	0,222	<,01	<,01	<,01	<,01	<,01	<,01	0,02
Perda de MS	5,66	5,22	4,71	4,61	0,085	<,01	<,01	<,01	0,06	<,01	<,01	<,01
Perda de FDN	7,31	4,92	7,98	13,50	0,496	0,01	<,01	<,01	<,01	0,18	<,01	<,01
Perda de MSnFDN	18,06	14,93	15,94	20,77	0,475	0,08	0,01	<,01	<,01	<,01	<,01	0,03
Diferença temperatura	16,51	15,91	15,88	16,02	0,112	0,04	0,02	<,01	<,01	<,01	<,01	<,01
Temperatura final	36,94	36,30	37,11	37,00	0,125	0,00	<,01	<,01	0,04	<,01	<,01	<,01
Digest. MS 24H	42,75	43,12	44,78	43,76	0,342	0,34	0,01	<,01	0,04	<,01	<,01	0,56
Digest. FDN 24H	18,40	25,16	25,47	21,77	1,148	0,11	0,18	0,32	<,01	<,01	<,01	<,01
Digest. MSnFDN 24H	73,84	65,86	70,18	71,75	1,341	0,02	0,41	<,01	<,01	<,01	0,03	<,01
Digest. MS 96H (fração indigestível)	43,83	42,09	42,25	41,93	0,317	<,01	<,01	<,01	0,02	0,24	<,01	0,11
Digest. FDN 96H (fração indigestível)	59,08	58,60	59,46	57,99	0,913	0,28	0,90	0,05	0,59	<,01	0,28	<,01
Digest. MSnFDN 96H (fração indigestível)	25,46	20,53	23,40	21,64	1,124	<,01	0,67	<,01	0,16	0,03	0,20	<,01

¹ MS55 = Matéria Seca determinada por secagem em estufa a 55°C por 72 horas. FDN = Fibra em Detergente Neutro. Matéria Seca não Fibra em Detergente Neutro = 100 – FDN. Diferença de temperatura = diferença da temperatura da cana-de-açúcar-de-açúcar em relação a temperatura ambiente em graus Celsius = T °C da cana-de-açúcar-de-açúcar - T°C do ambiente. Temperatura final = temperatura em graus Celsius da cana-de-açúcar-de-açúcar no final de cada tempo. Médias = LSMEAN. t = tratamento; r = rodada; te = tempo.

4.1.1 Fibra em detergente neutro (FDN)

Os teores de FDN variaram ao redor de 55% (Tabela 1). Independentemente do tratamento ou rodada, os teores de FDN aumentaram com o decorrer do tempo. O menor teor de FDN é encontrado na cana-de-açúcar fresca moída à tarde, após 24 horas de contato. Os maiores teores de FDN foram encontrados, independentemente do tratamento e do horário de moagem, com 120 horas após a moagem (Figuras 4.0, 5.0 e 6.0).

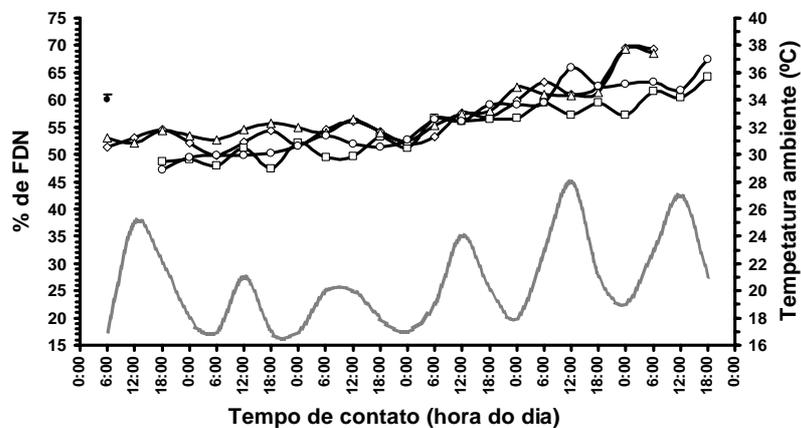


FIGURA 4 Efeito do tempo de contato sobre a porcentagem de FDN (fresca manhã = ◇; hidrolisada manhã = Δ; fresca tarde = □; hidrolisada tarde = ○), nos diferentes tempos (tempo zero da manhã = 6h e tempo zero da tarde = 18h), juntamente com a temperatura ambiente no período.

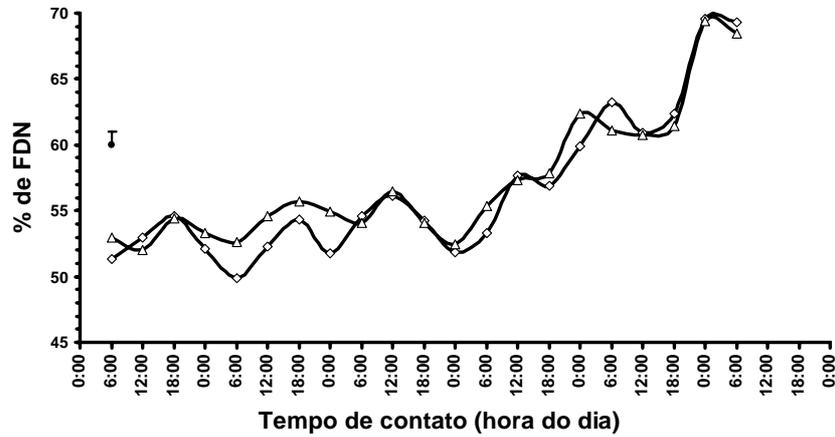


FIGURA 5 Efeito do tempo de contato sobre a porcentagem de FDN (fresca manhã = ◇; hidrolisada manhã = △), nos diferentes tempos (tempo zero da manhã = 6h).

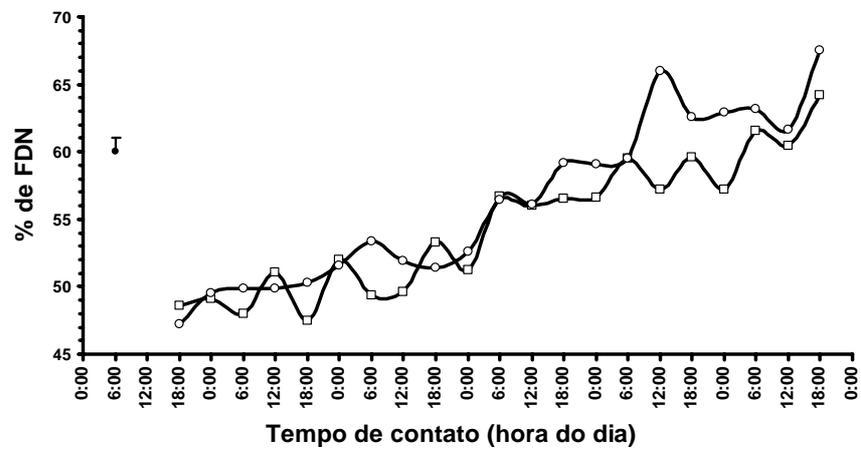


FIGURA 6 Efeito do tempo de contato sobre a porcentagem de FDN (fresca tarde = □; hidrolisada tarde = ○), nos diferentes tempos (tempo zero da tarde = 18h).

O maior teor de FDN da cana-de-açúcar hidrolisada contradiz a hipótese de que a hidrólise diminui FDN. Coombe et al. (1979) utilizaram NaOH em

palha de cevada e relataram que houve diminuição no teor de FDN e creditaram essa diminuição à solubilização da hemicelulose.

Moraes et al. (2006), comparando consumo de cana-de-açúcar hidrolisada com 1,0% de cal por 24 horas, em comparação à cana-de-açúcar fresca, encontraram um valor superior de FDN na cana-de-açúcar que recebeu o tratamento (49,23% de FDN) em comparação a que não recebeu o tratamento alcalino (47,48%).

Em um estudo comparativo entre peróxido de hidrogênio, NaOH e CaO, Chaudhry (1998) relatou que a FDN diminui quando utilizados em palha de trigo estocada por 14 dias. Domingues et al. (2007) encontraram diminuição no teor de FDN, quando compararam a cana-de-açúcar fresca em relação à cana-de-açúcar, que recebeu doses crescentes de CaO. Os autores atribuíram essa diminuição no teor de FDN à solubilização de parte da fibra após o tratamento alcalino. Essa solubilização foi maior na cana-de-açúcar que recebeu a maior dosagem de cal. Na dose de 1,0% de cal, o teor médio de FDN foi semelhante ao da cana-de-açúcar que recebeu a dose de 1,5% e 2,0%. Em concordância com esse trabalho, com o passar do tempo (horas), o teor de FDN, independentemente do tratamento recebido, aumentou.

A elevação do FDN seria causada pelo consumo de MSnFDN pelos microrganismos e também pela planta, no seu processo de tentativa de se manter viva.

Ezequiel et al. (2005), trabalhando com cana-de-açúcar hidrolisada com NaOH, encontraram teor de FDN menor que o da cana-de-açúcar mantida fresca. Alves et al. (2007), avaliando o uso de cal hidratada micropulverizada em diferentes tempos, encontraram aumento no teor de FDN na cana-de-açúcar hidrolisada, quando analisada a fração colmo da cana-de-açúcar. Não encontraram diferença significativa no teor de FDN na fração folha da cana-de-açúcar, tanto na hidrolisada quanto na mantida fresca, nos diferentes tempos.

Oliveira et al. (2007) avaliaram a cal hidratada em diferentes níveis e tempos de contato e constataram que a hidrólise não afetou o teor de FDN. Salientaram também que, numericamente, o teor de cal 0,5% causou um menor valor de FDN, se comparado a maiores quantidade de alcalinizante. Os autores atribuíram a não mudança no teor de FDN à composição da cal. Esse tratamento com outros alcalinizantes solubilizaria parcialmente a hemicelulose, fenômeno conhecido como entumescimento alcalino da celulose, que consiste na expansão das moléculas da mesma (Jackson, 1977).

A ação da cal depende de vários fatores, dentre eles a composição da rocha que originou a cal, principalmente os teores de cálcio e de óxido de magnésio. Mota et al. (2007), utilizando dois tipos de cal (hidratada e virgem), relataram que o teor de FDN foi afetado, havendo redução de 9,17% e 11,44% na cana-de-açúcar hidrolisada com 0,5% de cal virgem e hidratada, respectivamente, quando comparadas com a cana-de-açúcar mantida fresca. Diminuição no teor de FDN também foi encontrada por Haddad et al. (1994), utilizando diferentes tipos de tratamentos alcalino (únicos ou em combinações de tratamentos) em palha de trigo. As maiores diminuições do teor de FDN foram encontradas quando foram utilizados 5,0% de hidróxido de amônio, combinação de 2,5% de hidróxido de cálcio + 2,5% de hidróxido de amônio e 5,0% de hidróxido de cálcio.

Miranda (2006) avaliou, dentre outras variáveis, a perda de FDN de cana-de-açúcar que recebeu aditivo químico (controle, sorbato de potássio = 0,05% da matéria natural, uréia = 1% da matéria natural e hidróxido de cálcio = 1% da matéria natural) e microbianos (lactobacilos). O autor obteve como resultado uma redução (tornando o teor baixo e constante) no teor de FDN das silagens entre os dias 7 e 28 de ensilagem e apresentou, de forma geral, um aumento quadrático para esse aditivo. Os resultados desse experimento vão contra o encontrado por Jackson (1977), que resumiu mais de cem pesquisas

utilizando tratamento alcalino e relatou que o conteúdo de FDN diminuía com o tratamento.

4.1.2 Matéria seca não fibra em detergente neutro (MSnFDN)

Coerentemente com os valores encontrados para o teor de FDN, os teores de MSnFDN tiveram as mesmas características (Figuras 7.0, 8.0 e 9.0). Em todos os tratamentos, houve diminuição do teor de MSnFDN. Esse resultado era esperado, pois, com o passar do tempo, há a fermentação de compostos facilmente fermentáveis, nesse caso, o açúcar, que é utilizado tanto pela célula vegetal quanto pelos microrganismos presentes. A cana-de-açúcar moída à tarde, em concordância com o teor de FDN, apresentou teor de MSnFDN maior que o da cana-de-açúcar moída à tarde.

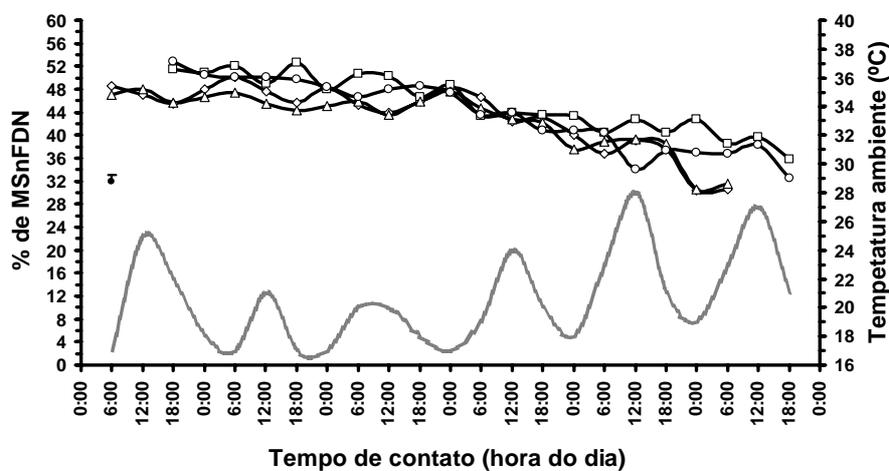


FIGURA 7 Efeito do tempo de contato sobre a porcentagem de MSnFDN (fresca manhã = ◇; hidrolisada manhã = Δ; fresca tarde = □; hidrolisada tarde = ○), nos diferentes tempos (tempo zero da manhã = 6h e tempo zero da tarde = 18h), juntamente com a temperatura ambiente no período.

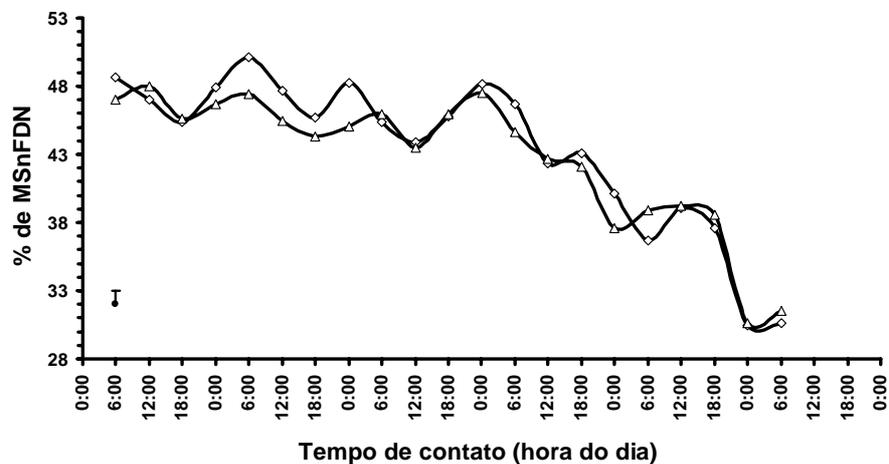


FIGURA 8 Efeito do tempo de contato sobre a porcentagem de MSnFDN (fresca manhã = ◇; hidrolisada manhã = Δ) nos diferentes tempos (tempo zero da manhã = 6h).

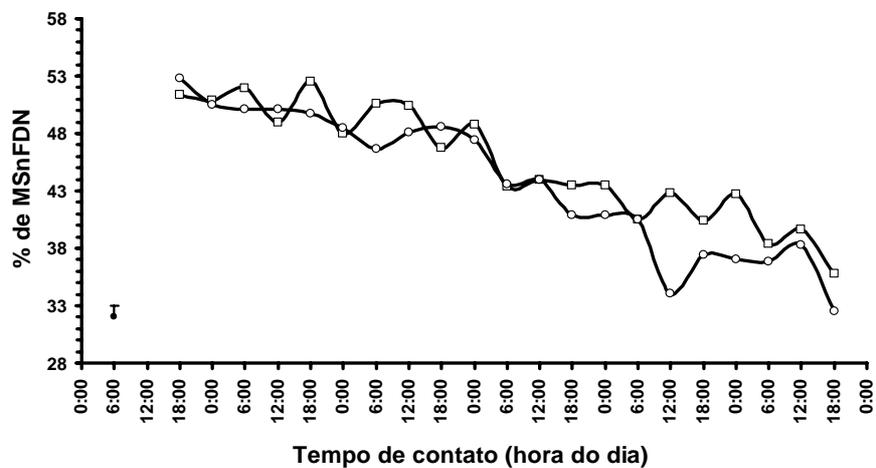


FIGURA 9 Efeito do tempo de contato sobre a porcentagem de MSnFDN (fresca tarde = □; hidrolisada tarde = ○), nos diferentes tempos (tempo zero da tarde = 18h).

Oliveira et al. (2006) não encontraram nenhuma diferença entre a cana-de-açúcar fresca e cana-de-açúcar hidrolisada com 0,5% de cal em dois tipos de aplicação (seca e em solução), em relação ao teor de MSnFDN. Os autores relatam redução de apenas 1,24% no teor de MSnFDN na cana-de-açúcar hidrolisada com cal.

Com o passar do tempo, ocorre, primeiramente, a perda de compostos prontamente disponíveis para a célula vegetal e fermentáveis para os microrganismos presentes (nesse caso, o açúcar).

4.1.3 Perda matéria seca

Um dos fatores determinantes da eficiência na conservação de forragens é a perda de nutrientes que ocorre desde a colheita até a ingestão pelos animais. As perdas totais podem ser simplesmente determinadas como a diferença na quantidade de material (matéria natural, matéria seca, proteína, etc.) armazenada e removida para alimentação.

A perda de MS poderia ser mensurada de três maneiras: i) como nutrientes contidos nos efluentes; (ii) como calor de catabolismo de nutrientes por células vivas (iii) como subprodutos gasosos do catabolismo de nutrientes (CO_2 , NH_4 e CH_4).

A cana-de-açúcar fresca moída pela manhã apresentou maior perda de MS em relação aos outros tratamentos (Tabela 1.0). Independentemente do tempo e do tratamento, a cana-de-açúcar moída à tarde perdeu menos MS do que a cana-de-açúcar moída pela manhã (Figuras 10.0, 11.0 e 12.0). A perda média de MS do tratamento da cana-de-açúcar fresca ficou ao redor de 5,19%, maior que os 4,92% de perda de MS da cana-de-açúcar hidrolisada, independente do tratamento, o que poderia ser considerado elevado, se for considerado o pequeno período de estocagem.

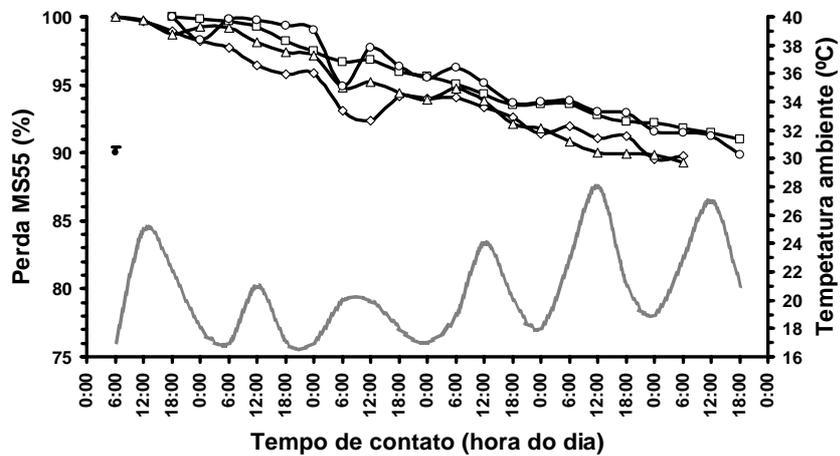


FIGURA 10 Efeito do tempo de contato sobre a porcentagem de perda de MS (fresca manhã = \diamond ; hidrolisada manhã = Δ ; fresca tarde = \square ; hidrolisada tarde = \circ), nos diferentes tempos (tempo zero da manhã = 6h e tempo zero da tarde = 18h), juntamente com a temperatura ambiente.

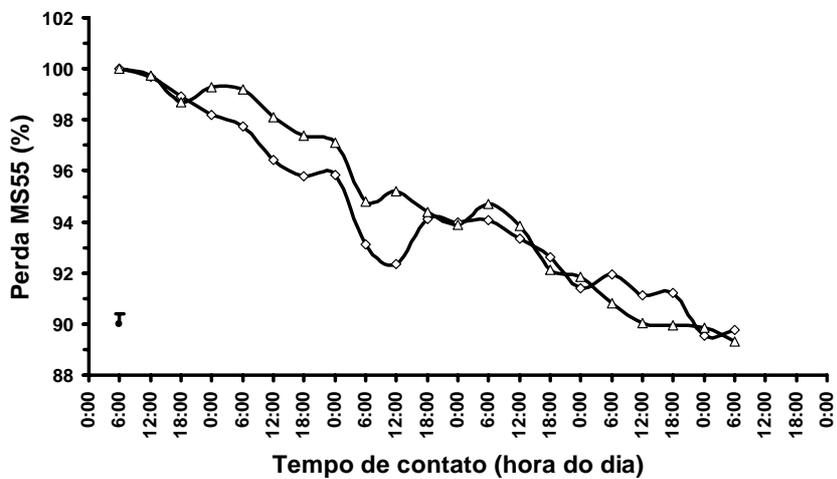


FIGURA 11 Efeito do tempo de contato sobre a porcentagem de perda de MS (fresca manhã = \diamond , hidrolisada manhã = Δ), nos diferentes tempos (tempo zero da manhã = 6h).

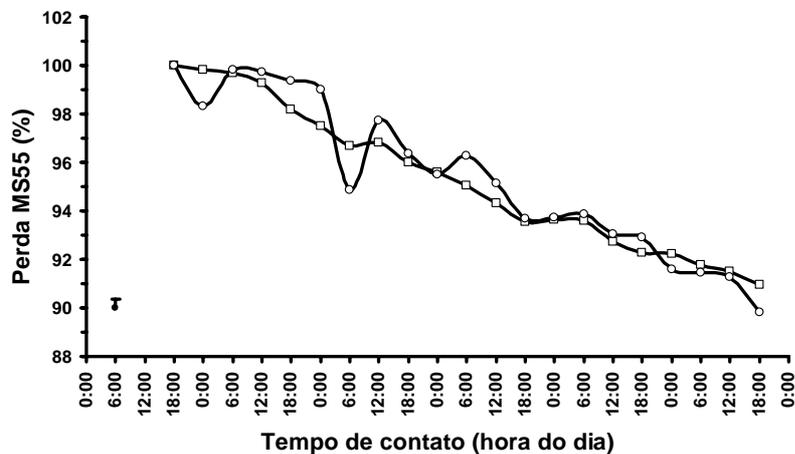


FIGURA 12 Efeito do tempo de contato sobre a porcentagem de perda de MS (fresca tarde = □; hidrolisada tarde = ○), nos diferentes tempos (tempo zero da tarde = 18h).

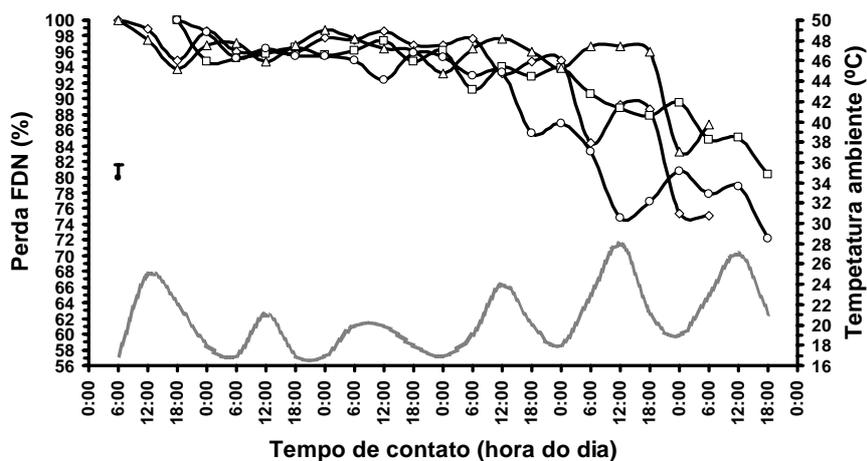
Caetano et al. (2008) utilizaram cana-de-açúcar fresca (*in natura*) recebendo diferentes tratamentos químicos, dentre eles cal hidratada dolomítica, cal hidratada calcítica e cal virgem dolomítica, na dosagem de 1,0% da matéria natural, na forma de pó ou diluída em água (1,0kg de cal/4,0 litros de água). Obtiveram como resultado uma menor perda de MS quando trataram a cana-de-açúcar com agente alcalinizante (redução da perda em 21,9% em relação à cana-de-açúcar, que não recebeu os diferentes tratamentos), o que é coerente com o encontrado por Santos (2007). Nesse trabalho ficou comprovado que se deve diluir a cal virgem em água, pois a perda de MS nessa forma de aplicação foi de 15,88%, estatisticamente inferior à perda de MS encontrada na forma de aplicação em pó, que foi de 23,16%.

A menor perda de MS ocorreu com a cana-de-açúcar hidrolisada à tarde. Com o decorrer das horas, há perda de nutrientes tanto pela célula vegetal

quanto pelos microrganismos presentes no material. Isso fica evidenciado com essa perda de MS.

4.1.4 Perda de fibra em detergente neutro

As perdas de FDN diferiram entre os tratamentos (Tabela 1.0). A perda de FDN em, aproximadamente, 72 horas após a moagem da manhã e da tarde, tanto na cana-de-açúcar fresca quanto na hidrolisada, apresentou um valor semelhante (Figuras 13.0, 14.0 e 15.0). Após esse período, a cana-de-açúcar hidrolisada pela manhã e a cana-de-açúcar fresca moída à tarde apresentaram perdas menores que as suas comparativas.



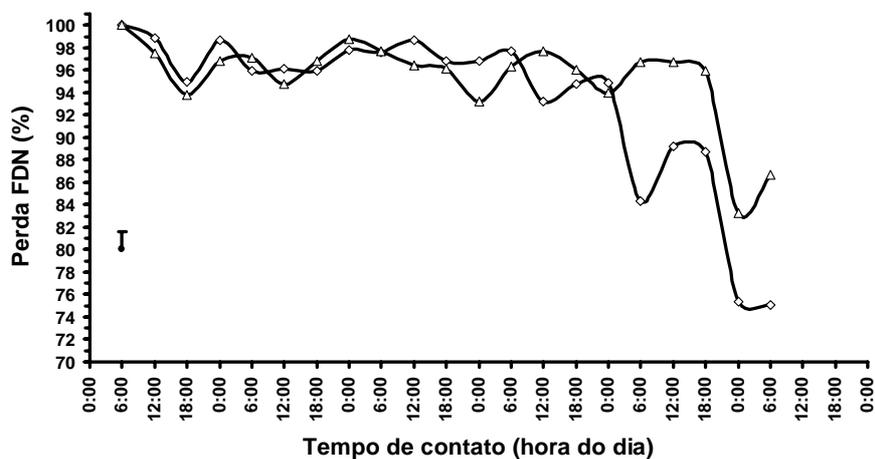


FIGURA 14 Efeito do tempo de contato sobre a porcentagem de perda de FDN (fresca manhã = ◇; hidrolisada manhã = Δ), nos diferentes tempos (tempo zero da manhã = 6h).

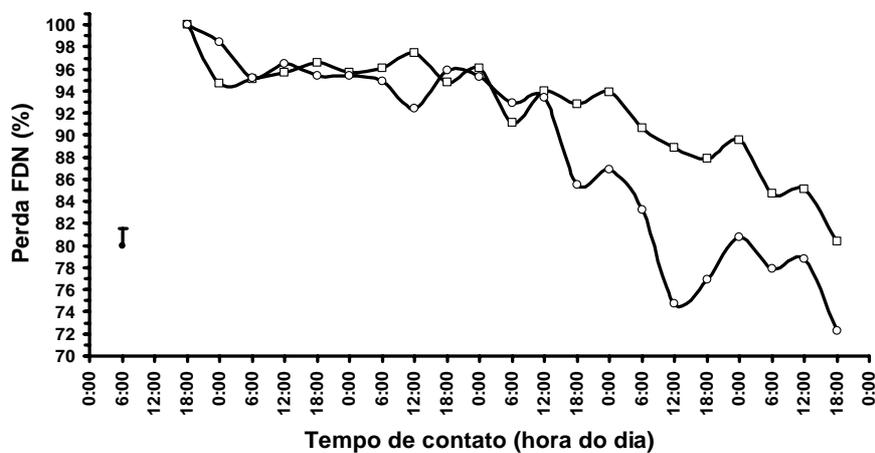


FIGURA 15 Efeito do tempo de contato sobre a porcentagem de perda de FDN (fresca tarde = □; hidrolisada tarde = ○), nos diferentes tempos (tempo zero da tarde = 18h).

4.1.5 Perda de matéria seca não fibra em detergente neutro

Em média, as perdas da cana-de-açúcar hidrolisada pela manhã e a fresca moída a tarde apresentaram valores menores de perda de MSnFDN (Tabela 1.0). Se considerarmos um período de armazenamento de 120 horas após a moagem, a cana-de-açúcar hidrolisada pela manhã e a cana-de-açúcar mantida fresca, moída à tarde, apresentaram menor perda de MSnFDN (Figuras 16.0, 17.0 e 18.0).

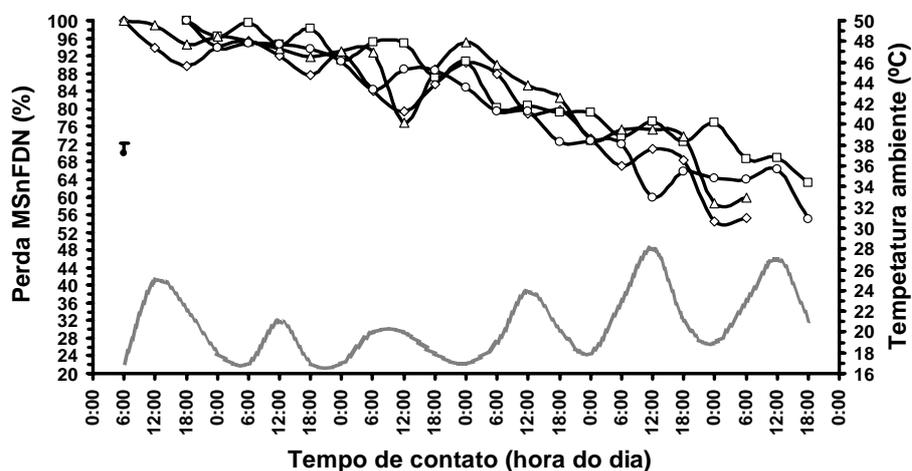


FIGURA 16 Efeito do tempo de contato sobre a porcentagem de perda de MSnFDN (fresca manhã = ◇; hidrolisada manhã = Δ; fresca tarde = □; hidrolisada tarde = ○), nos diferentes tempos (tempo zero da manhã = 6h e tempo zero da tarde = 18h), juntamente com a temperatura ambiente no período.

Santos et al (2006) avaliaram a composição da cana-de-açúcar tratada com diferentes quantidades de Cão e encontraram uma diminuição na perda de MSnFDN na cana-de-açúcar que recebeu o tratamento com a cal em comparação a cana-de-açúcar controle (sem tratamento), com a temperatura ambiente controlada.

Cavali et al. (2006) avaliaram os efeitos de diferentes níveis de CaO em silagem de cana-de-açúcar e relataram que o tratamento com a cal não influenciou a quantidade de MSnFDN, registrando valor médio de 13,9%. Isso indica utilização média de 65% deste constituinte durante o processo de fermentação, em relação ao conteúdo original de MSnFDN.

4.1.6 Diferença da temperatura da cana-de-açúcar em relação a temperatura ambiente (DifCamb)

A diferença de temperatura foi calculada pela diferença entre a temperatura da cana-de-açúcar menos a temperatura ambiente em cada tempo. A temperatura da cana-de-açúcar fresca à tarde apresentou a menor diferença em relação à temperatura ambiente (Tabela 1.0). Com o passar do tempo e independentemente do tratamento e da rodada, a diferença entre a temperatura da cana-de-açúcar e a temperatura ambiente foi aumentando (Figuras 19.0; 20.0 e 21.0).

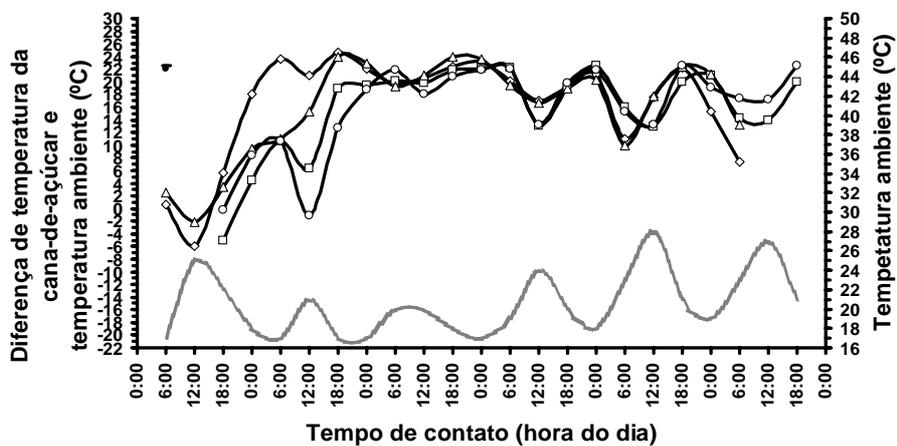


FIGURA 19 Efeito do tempo de contato sobre a diferença da temperatura da cana-de-açúcar menos a temperatura ambiente (fresca manhã = \diamond ; hidrolisada manhã = Δ ; fresca tarde = \square ; hidrolisada tarde = \circ), nos diferentes tempos (tempo zero da manhã = 6h e tempo zero da tarde = 18h), juntamente com a temperatura ambiente.

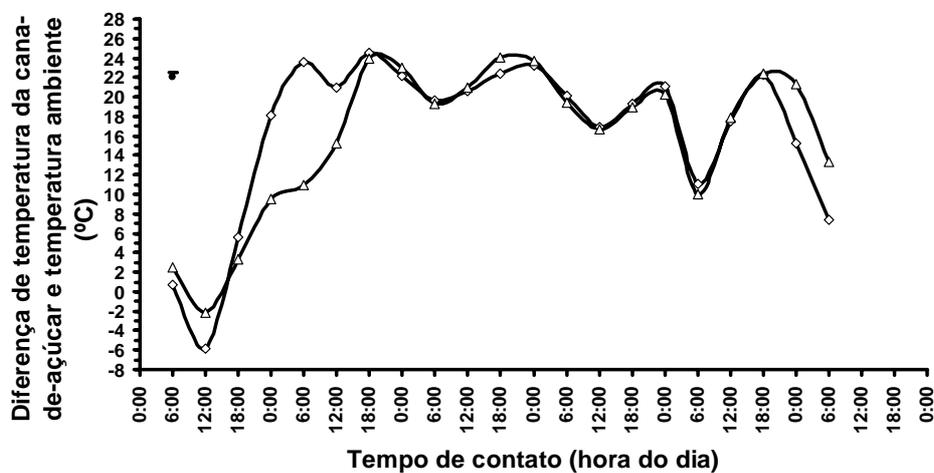


FIGURA 20 Efeito do tempo de contato sobre a diferença da temperatura da cana-de-açúcar menos a temperatura ambiente (fresca manhã = \diamond ; hidrolisada manhã = Δ), nos diferentes tempos (tempo zero da manhã = 6h).

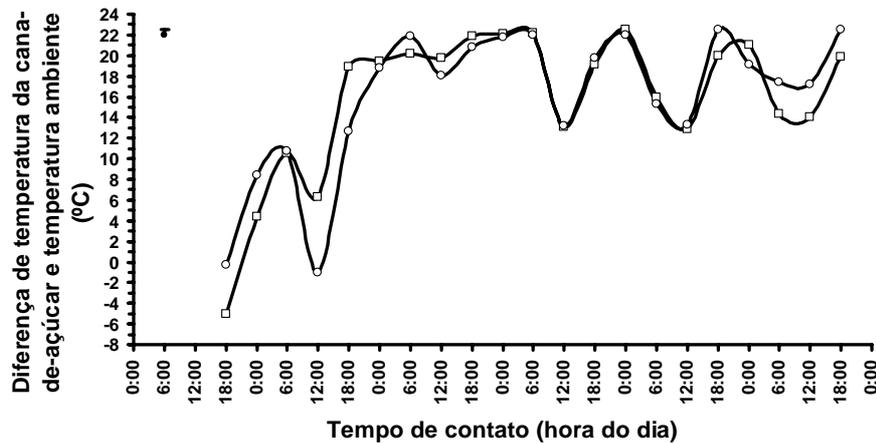


FIGURA 21 Efeito do tempo de contato sobre a diferença da temperatura da cana-de-açúcar menos a temperatura ambiente (fresca tarde = □; hidrolisada tarde = ○), nos diferentes tempos (tempo zero da tarde = 18h).

Domingues et al. (2006) utilizaram montes de cana-de-açúcar com 15kg cada, tratando com doses crescentes de cal microprocessada: 0,0%, 0,5%, 1,0%, 1,5% e 2,0%, na base da matéria natural e diluída em água. Mediram a temperatura inicial e final de cada monte e retiraram amostras das canas tratadas nos seguintes tempos após o tratamento alcalino: 0, 24, 48, 72 e 96 horas. Com relação à variação da temperatura no decorrer desse experimento, os autores observaram que a temperatura inicial foi mais elevada nos tratamentos com a cana tratada, justificando que, no momento de mistura da cal com a água, ocorre liberação de calor (reação exotérmica), a qual elevaria a temperatura inicial e que, à medida que o tempo foi se alongando, ocorreu queda na temperatura.

4.1.7 Temperatura final

A temperatura final média da cana-de-açúcar fresca moída pela manhã foi maior que a hidrolisada moída pela manhã (Tabela 1.0). Isso também ocorreu na cana-de-açúcar fresca e hidrolisada à tarde. A temperatura final de cada cana-de-açúcar, hidrolisada ou não, independente do horário da moagem tendeu a subir nas primeiras 36 horas (Figuras 22.0, 23.0 e 24.0), estabilizando-se até, aproximadamente, 114 horas.

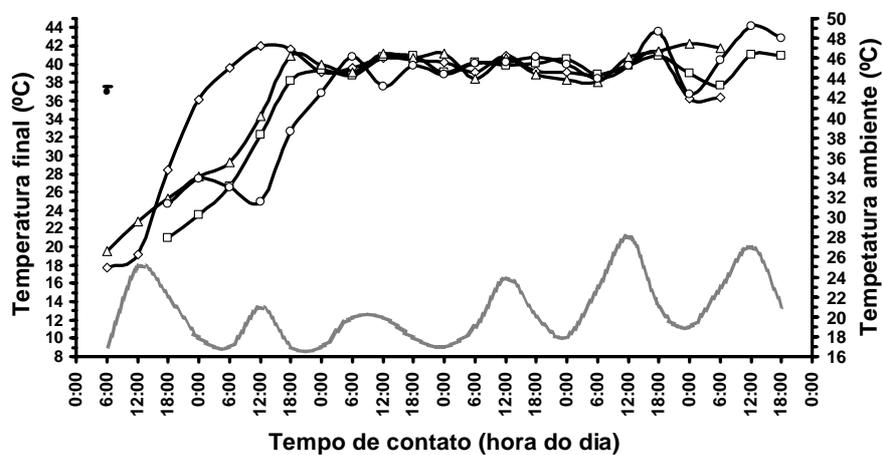


FIGURA 22 Efeito do tempo de contato sobre a temperatura final da cana-de-açúcar (fresca manhã = ◇; hidrolisada manhã = Δ; fresca tarde = □; hidrolisada tarde = ○), nos diferentes tempos (tempo zero da manhã = 6h e tempo zero da tarde = 18h), juntamente com a temperatura ambiente.

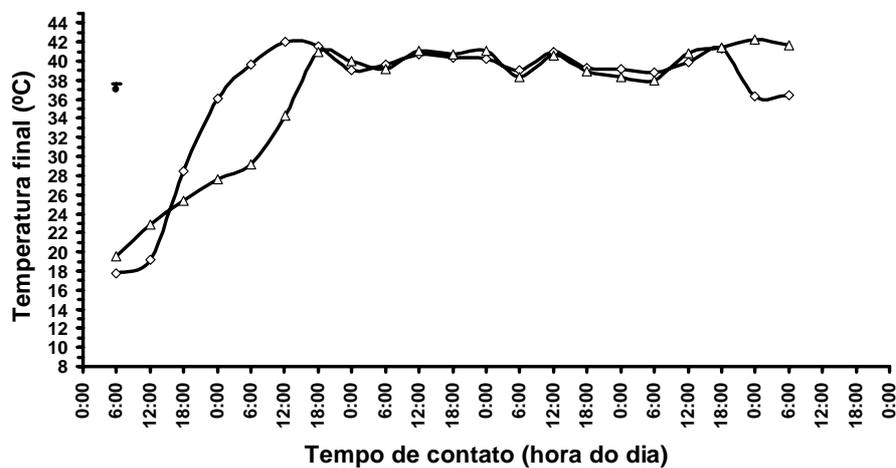


FIGURA 23 Efeito do tempo de contato sobre a temperatura final da cana-de-açúcar (fresca manhã = ◇; hidrolisada manhã = Δ), nos diferentes tempos (tempo zero da manhã = 6h).

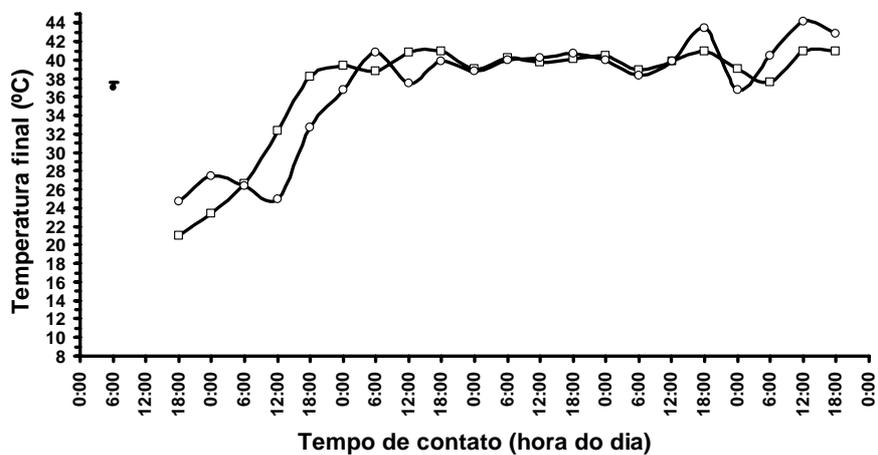


FIGURA 24 Efeito do tempo de contato sobre a temperatura final da cana-de-açúcar (fresca tarde = □; hidrolisada tarde = ○), nos diferentes tempos (tempo zero da tarde = 18h).

Domingues et al. (2006) observaram uma taxa de acréscimo na temperatura da cana-de-açúcar a partir do momento da adição da cal (CaO) de 0,53°C/hora. Moraes et al. (2006) atribuem o aumento da temperatura da cana-de-açúcar tratada por 24 horas com cal (CaO) ao menor consumo de novilhas de corte, comparadas às que receberam cana-de-açúcar fresca.

Caetano et al. (2008) utilizaram cana-de-açúcar fresca (*in natura*) recebendo diferentes tratamentos químicos, dentre eles cal hidratada dolomítica, cal hidratada calcítica e cal virgem dolomítica, na dosagem de 1,0% da matéria natural, na forma de pó ou diluída em água (1,0kg de cal/4,0 litros de água). Estes autores relataram que nenhum tratamento afetou os níveis de estabilidade aeróbica avaliados, dentre eles a temperatura final (média para a cana-de-açúcar tratada, 44,96°C e, para cana-de-açúcar controle, 45,33°C), o tempo máximo para a temperatura final, a taxa de elevação de temperatura até a temperatura final.

4.1.8 Digestibilidade da MS em 24 horas

4.1.8.1 Digestibilidade da MS em 24 horas – tratamento X rodada

A digestibilidade da MS em 24 horas não diferiu entre os tratamentos (Tabela 2). Houve diferença ao se considerar a interação tratamento X rodada, tendo a digestibilidade da MS em 24 horas da rodada a tarde, independentemente do tratamento, sido maior que a da rodada da manhã (Tabela 2).

TABELA 2 Digestibilidade média (LSMEAN) da cana-de-açúcar nos dois tratamentos e nas duas rodadas (horário de moagem).

Tratamento	Rodada	DigestMS24H (%)	EPM
Fresca	Manhã	42,75	0,342
Fresca	Tarde	44,78	
Hidrolisada	Manhã	43,12	
Hidrolisada	Tarde	43,76	

4.1.8.2 Digestibilidade da MS em 24 horas – tratamento X tempo

Houve diferença significativa se considerarmos a interação tratamento X tempo, em que a digestibilidade da cana-de-açúcar diminuiu em relação ao tempo, independentemente da rodada (Tabela 1.0). A cana-de-açúcar fresca apresentou maior digestibilidade da MS em 24 horas do que a cana-de-açúcar hidrolisada com o passar do tempo (Figura 25.0).

Coombe et al. (1979), estudando a digestibilidade dos nutrientes da palha de cevada tratada com NaOH em intervalos de 72 horas, concluíram que a palha de cevada moída ou peletizada que recebeu tratamento alcalino teve um aumento em 10 unidades em digestibilidade em relação à que não recebeu o tratamento. E, quando compararam a digestibilidade ao longo das 72 horas, em todos os tempos, também concluíram que a hidrólise alcalina da palha de cevada com NaOH aumentou a digestibilidade em relação à palha que não recebeu o tratamento, tanto na peletizada quanto moída.

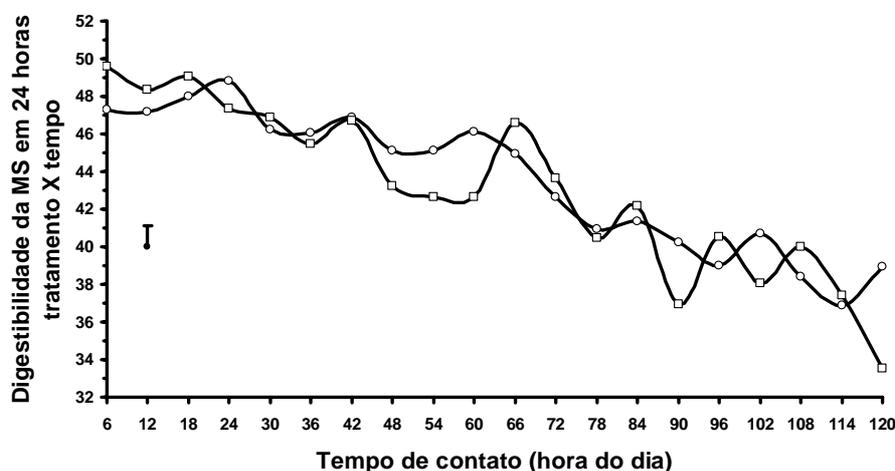


FIGURA 25 Efeito do tempo de contato sobre a digestibilidade, em 24 horas, da cana-de-açúcar fresca (○) e da cana-de-açúcar hidrolisada (□), independente do horário de moagem.

A digestibilidade *in vitro* da MS foi maior em cana-de-açúcar que recebeu Ca(OH)_2 (1,0% da matéria natural), comparada com cana-de-açúcar fresca (*in natura*), em um trabalho realizado por Atílio et al. (2008). A digestibilidade da MS da cana-de-açúcar hidrolisada e da cana-de-açúcar fresca apresentou a mesma tendência ao longo dos tempos (120 dias de armazenamento), com média de 59,71% de digestibilidade.

Domingues et al. (2008), estudando a digestibilidade *in vitro* da MS da cana-de-açúcar tratada com doses crescentes de cal virgem (controle, 0,5%, 1,0% e 1,5% de cal em relação à matéria natural), em diferentes tempos de exposição ao ar (0, 24, 48 e 72 horas), relataram que, para os tempos 0 e 24 horas, não houve diferença estatística independente da dose de cal utilizada. Já para os tempos de 48 e 72 horas, a cana-de-açúcar sem cal foi a que apresentou os valores mais baixos. A cana-de-açúcar controle e a que recebeu 1,0% tiveram os melhores resultados quando receberam o menor tempo de exposição ao ar. A

digestibilidade *in vitro* média da MS da cana-de-açúcar foi ao redor de 65%. Nesse trabalho, os maiores valores de digestibilidade *in vitro* da MS encontrados na cana-de-açúcar que sofreu o tratamento alcalino foi atribuído à ação principal da cal virgem (CaO).

4.1.8.3 Digestibilidade da MS em 24 horas – rodada X tempo

Houve diferença significativa se considerarmos a interação rodada X tempo, em que a digestibilidade da cana-de-açúcar moída pela manhã foi, em média (Tabela 1), maior que a cana-de-açúcar moída à tarde. Mas, a cana-de-açúcar moída pela manhã, na maior parte dos tempos analisados, apresentou menor digestibilidade da MS em 24 horas do que a moída à tarde (Figura 26).

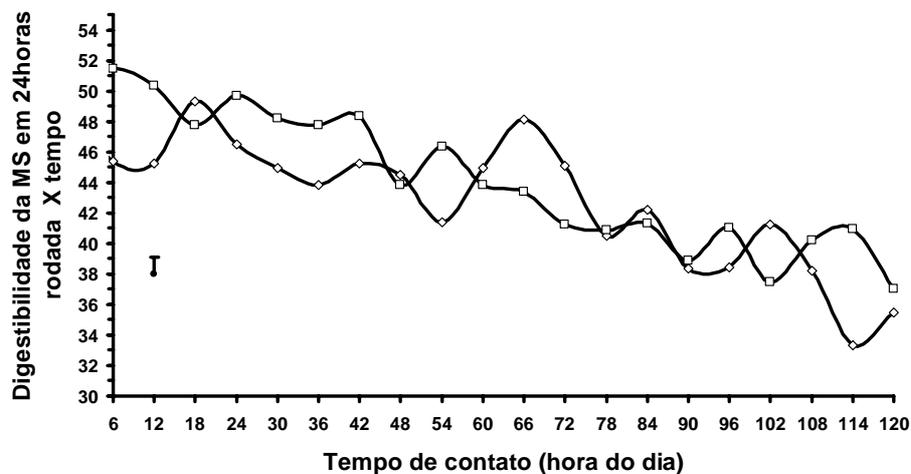
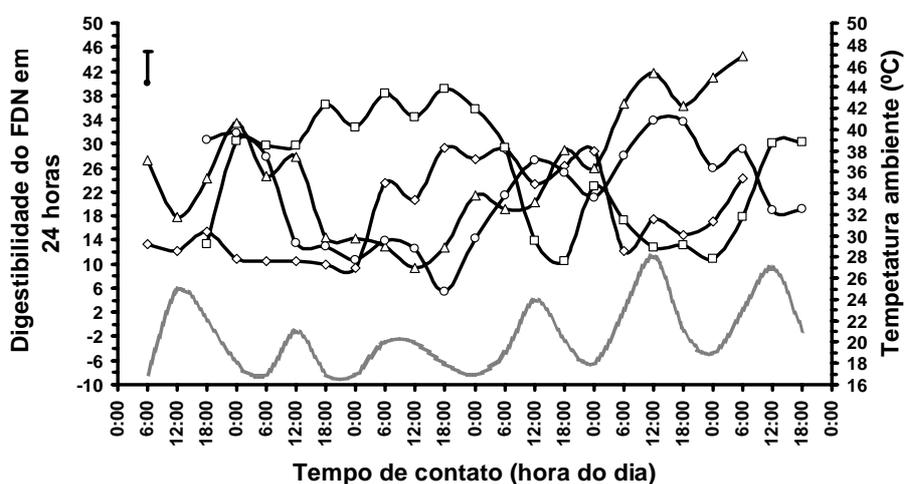


FIGURA 26 Efeito do tempo de contato sobre a digestibilidade em 24 horas da cana-de-açúcar moída pela manhã (◇) e a cana-de-açúcar moída a tarde (□), independente do tratamento.

4.2 Digestibilidade da FDN em 24 horas

A digestibilidade média (LSMEAN) da cana-de-açúcar mantida fresca e moída à tarde foi maior que em outros tratamentos (Tabela 1.0). Na cana-de-açúcar fresca moída à tarde, a digestibilidade da FDN em 24 horas foi maior por mais tempo que a cana-de-açúcar hidrolisada à tarde (Figuras 27.0, 28.0 e 29.0). Próximo a 60 horas de contato, a cana-de-açúcar fresca moída à tarde inverteu sua posição de mais digestível em 24 horas. Isso ocorreu após 42 horas de contato com a cana-de-açúcar moída pela manhã.



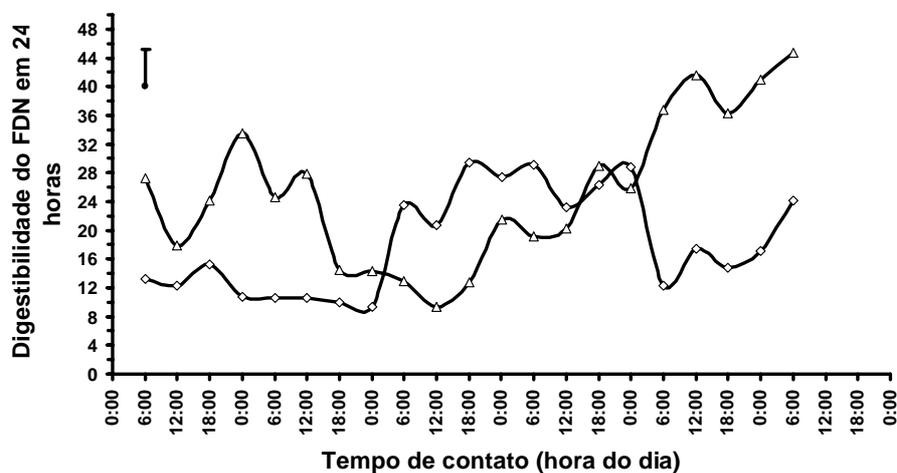


FIGURA 28 Efeito do tempo de contato sobre a digestibilidade da FDN em 24 horas, da cana-de-açúcar (fresca manhã = ◇; hidrolisada manhã = △), nos diferentes tempos (tempo zero da manhã = 6h).

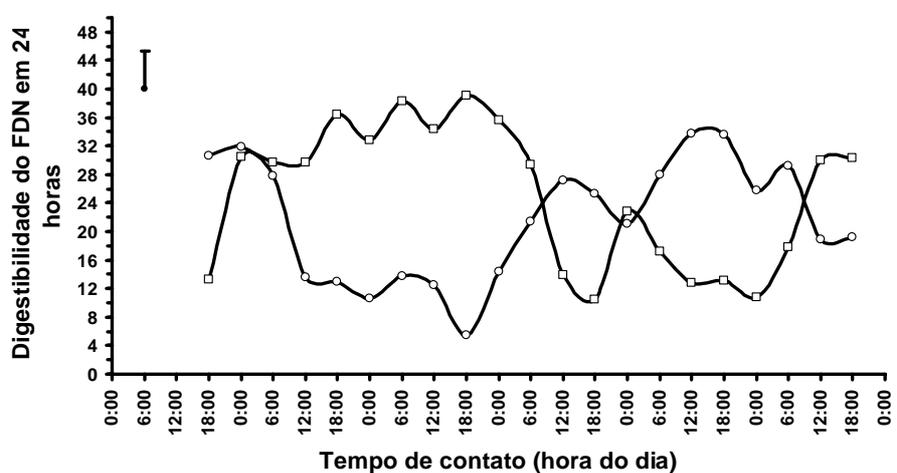
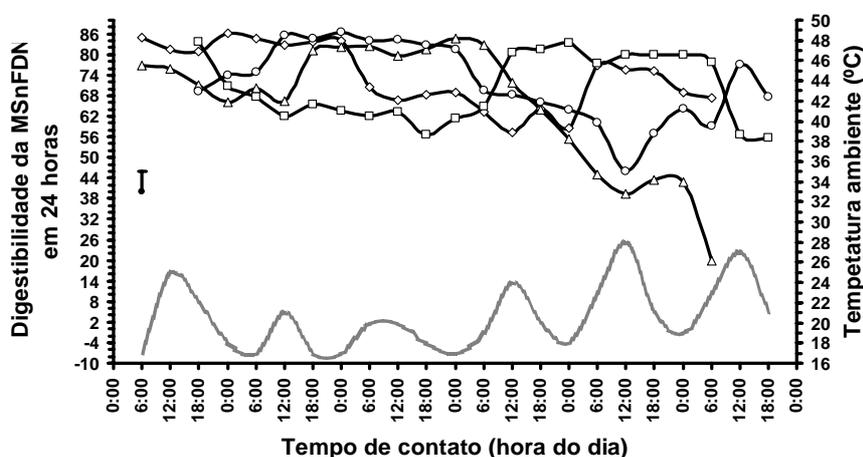


FIGURA 29 Efeito do tempo de contato sobre a digestibilidade da FDN, em 24 horas, da cana-de-açúcar (fresca tarde = □; hidrolisada tarde = ○), nos diferentes tempos (tempo zero da tarde = 18h).

4.2.1 Digestibilidade da MSnFDN em 24 horas

A digestibilidade média (LSMEAN) da cana-de-açúcar fresca e moída pela manhã foi maior do que a de outros tratamentos (Tabela 1.0). Até o tempo 42 horas após a moagem, a cana-de-açúcar fresca moída pela manhã apresentou digestibilidade da MSnFDN em 24 horas maior que a hidrolisada na mesma rodada. Essa digestibilidade inverteu-se no tempo 84 horas. De forma bastante similar em relação ao tempo, mas diferente em relação ao tratamento, ocorreu essa mudança de digestibilidade na rodada da tarde (Figuras 30.0, 31.0 e 32.0). A digestibilidade da MSnFDN em 24 horas poderia ser maior, considerando que a cana-de-açúcar apresenta em sua MSnFDN praticamente açúcar e que ele é rapidamente digerido.

Deve-se levar em consideração que, no momento da colocação dos sacos, por melhor que tenham sido acomodados no rúmen, estavam em grande quantidade, chegando a ocupar grande espaço físico do rúmen. Com isso, pode ter ocorrido uma menor exposição das amostras ao conteúdo ruminal.



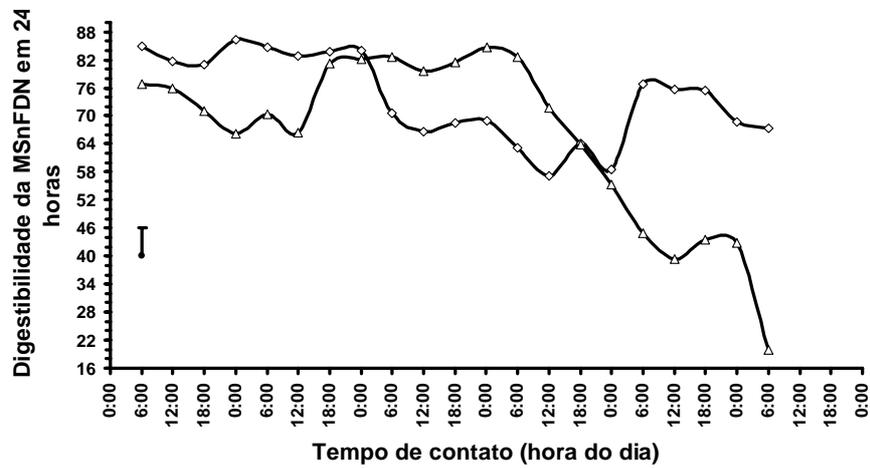


FIGURA 31 Efeito do tempo de contato sobre a digestibilidade da MSnFDN, em 24 horas, da cana-de-açúcar (fresca manhã = ◇; hidrolisada manhã = △), nos diferentes tempos (tempo zero da manhã = 6h).

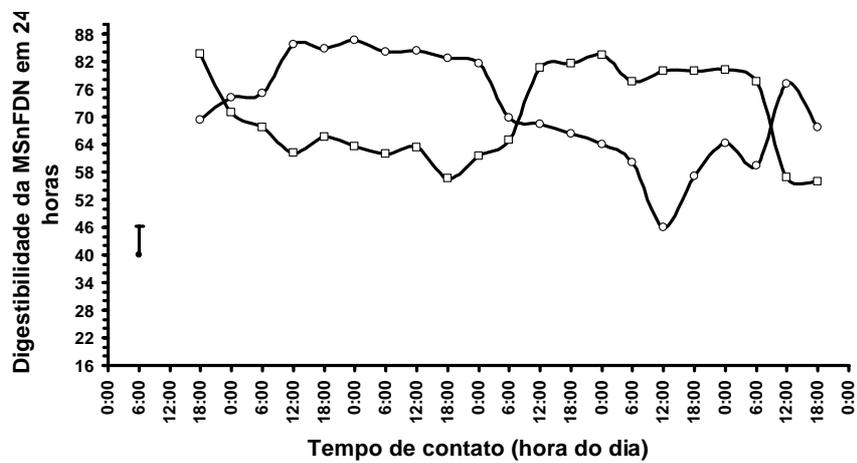


FIGURA 32 Efeito do tempo de contato sobre a digestibilidade da MSnFDN, em 24 horas, da cana-de-açúcar (fresca tarde = □; hidrolisada tarde = ○), nos diferentes tempos (tempo zero da tarde = 18h).

Cavali et al. (2007), utilizando doses crescentes de cal microprocessada (0,0%, 0,5%, 1,0%, 1,5% e 2,0%, com base na matéria natural), em silagens de cana-de-açúcar, obtiveram aumento da digestibilidade da MSnFDN. Os valores da digestibilidade da cana-de-açúcar que recebeu o agente alcalinizante foi acima de 50%, se comparados aos 30,58% de digestibilidade da MSnFDN de cana-de-açúcar controle, em até 144 horas de incubação.

4.3 Digestibilidade da matéria secam em 96 horas

4.3.1 Digestibilidade da MS em 96 horas – tratamento X rodada

Independentemente do tempo de contato, a cana-de-açúcar hidrolisada à tarde apresentou digestibilidade média (LSMEAN) maior da MS em 96 horas (Tabela 1). A cana-de-açúcar hidrolisada tanto na rodada da manhã quanto na rodada da tarde, apresentou maior digestibilidade da MS, em 96 horas de incubação (Tabela 2).

TABELA 3 Digestibilidade média (residual, neste caso: 100-residual) da MS, em 96 horas (residual em %) de incubação da cana-de-açúcar, em diferentes tratamentos e rodadas.

Tratamento	Rodada	DigestMS96H (%)	EPM
Fresca	Manhã	43,83	0,317
Fresca	Tarde	42,25	
Hidrolisada	Manhã	42,09	
Hidrolisada	Tarde	41,93	

4.3.2 Digestibilidade da MS em 96 horas – rodada X tempo

A interação foi significativa (Tabela 1). A cana-de-açúcar moída na rodada da tarde apresentou maior digestibilidade da MS (residual) em 96 horas

do que a cana-de-açúcar moída pela manhã, independente do tratamento (Figura 33).

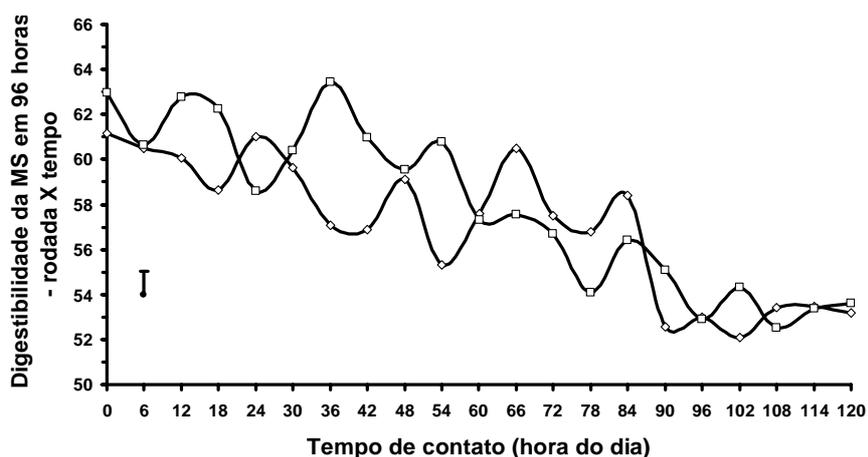


FIGURA 33 Digestibilidade da MS, em 96 horas de incubação da cana-de-açúcar, considerando apenas o efeito da interação rodada X tempo. Cana-de-açúcar moída pela manhã (◇) e a cana-de-açúcar moída à tarde (□), independente do tratamento.

Granzin et al. (2003) trataram feno de capim Rhodes com diferentes produtos alcalinos, dentre eles o Ca(OH)_2 e CaO e mediram a digestibilidade da MS em 48 horas de incubação. Obtiveram, como resultado, um aumento no valor nutritivo desse alimento, diminuindo significativamente o valor de FDN e a digestibilidade da MS. Todos os tratamentos aumentaram linearmente ($P < 0,05$) a digestibilidade da MS.

4.3.3 Digestibilidade da FDN em 96 horas

A digestibilidade da FDN em 96 horas (residual) de incubação da cana-de-açúcar fresca moída pela manhã foi maior até 36 horas de contato, se comparada à digestibilidade da FDN em 96 horas da cana-de-açúcar hidrolisada

também pela manhã. Na comparação de cana-de-açúcar moída à tarde, a fresca até 18 horas de contato apresentou resultado semelhante ao da hidrolisada, mas, com 24 horas de contato, a diferença foi maior (Figuras 34.0, 35.0 e 36.0). De modo geral, a cana-de-açúcar hidrolisada apresentou maior digestibilidade da FDN em 96 horas (Tabela 1.0) em relação à fresca, independente da rodada.

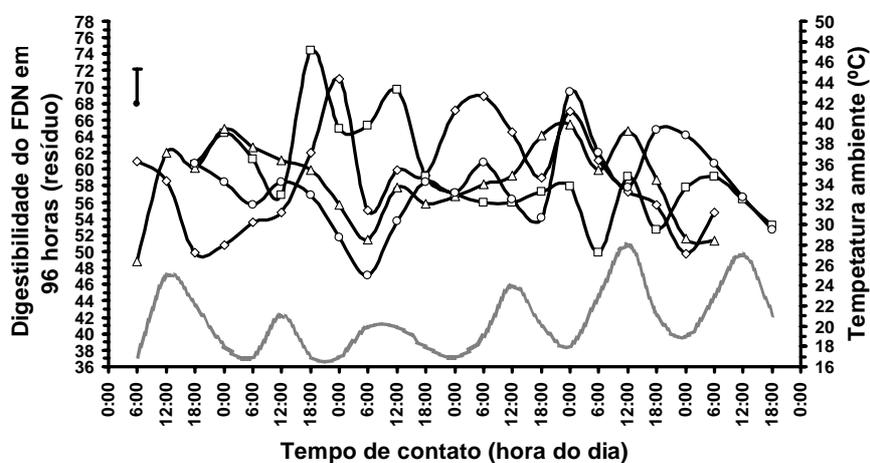


FIGURA 34 Efeito do tempo de contato sobre a digestibilidade da FDN em 96 horas da cana-de-açúcar (fresca manhã = ◇; hidrolisada manhã = Δ; fresca tarde = □; hidrolisada tarde = ○), nos diferentes tempos (tempo zero da manhã = 6h e tempo zero da tarde = 18h), juntamente com a temperatura ambiente no período.

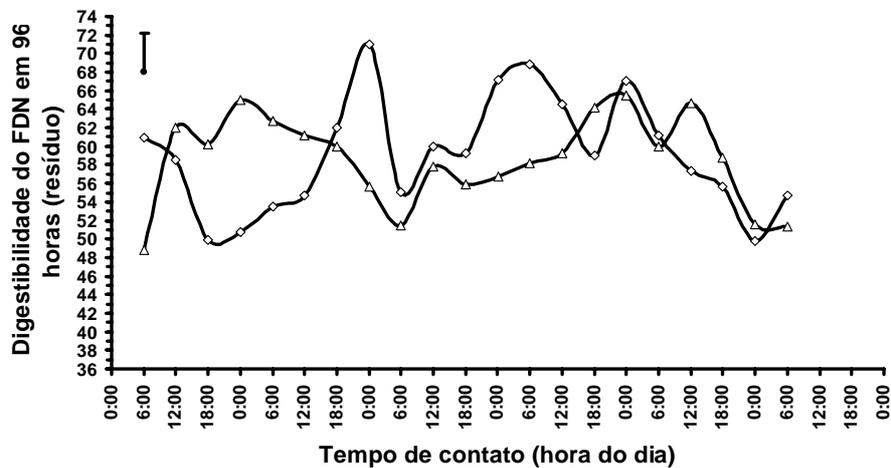


FIGURA 35 Efeito do tempo de contato sobre a digestibilidade da FDN em 96 horas da cana-de-açúcar (fresca manhã = ◇; hidrolisada manhã = △), nos diferentes tempos (tempo zero da manhã = 6h).

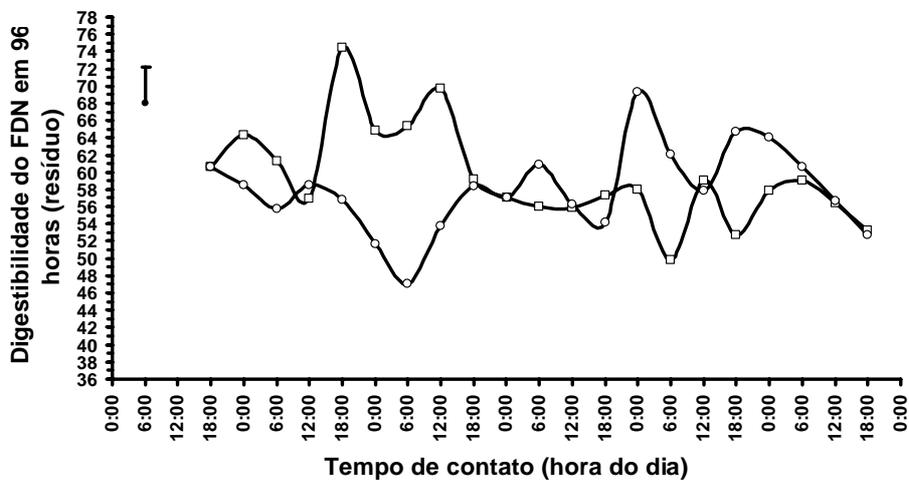


FIGURA 36 Efeito do tempo de contato sobre a digestibilidade da FDN em 96 horas da cana-de-açúcar (fresca tarde = □; hidrolisada tarde = ○), nos diferentes tempos (tempo zero da tarde = 18h).

Granzin et al. (2003) trataram feno de capim Rhodes com diferentes produtos alcalinos, dentre eles o Ca(OH)_2 e CaO e mediram a digestibilidade da MS em 48 horas de incubação. Obtiveram como resultado um aumento no valor nutritivo desse alimento, diminuindo significativamente o valor de FDN e a digestibilidade da MS. Encontraram, ainda, um efeito linear negativo ($P < 0,05$) para o teor de FDN quando utilizaram NaOH , Ca(OH)_2 e CaO . Houve também um efeito quadrático ($P < 0,05$) no teor de FDN para o tratamento com NaOH . O agente alcalinizante que causou a melhor diminuição no teor de FDN, foi o NaOH , seguido pelo Ca(OH)_2 e o CaO .

No trabalho de Chaudhry (2000), houve maior digestibilidade do FDN por um período de análise de 120 horas para palha de trigo hidrolisada com H_2O_2 em comparação à palha que não recebeu tratamento e outras que receberam ou NaOH ou CaO . Este autor relatou, ainda, que o CaO causou a maior redução de FDN e de lignina na palha de trigo, mas não teve o melhor desempenho na degradação ruminal, ficando abaixo do tratamento com H_2O_2 e NaOH . Acreditou-se que isso poderia ter sido devido ao aumento do efeito do CaO na molécula de lignina, por meio da liberação de compostos fenólicos que inibiram os microrganismos ruminais e, conseqüentemente, a degradação ruminal. Mas, essa hipótese contradiz os resultados encontrados por Silanikovic (1994) que encontrou maior deslignificação em palhas de algodão que receberam tratamento com NaOH , em vez de CaO em comparação ao H_2O_2 . Não foi encontrada diferença entre os dois tratamentos, quando comparados à digestibilidade *in vitro* da palha de algodão.

Cavali et al. (2007) utilizaram diferentes doses de cal em silagem de cana-de-açúcar e obtiveram os seguintes valores para a fração de FDN digestível em 144 horas de incubação: 45,7%, 25,3%, 16,7%, 16,3% e 17,8% para os níveis de cal de 0%, 0,5%, 1%, 1,5% e 2%, respectivamente.

4.4 Digestibilidade da MSnFDN em 96 horas

De forma semelhante ao encontrado na digestibilidade da FDN em 96 horas de incubação, a digestibilidade nesse caso foi menor para a cana-de-açúcar mantida fresca na rodada da manhã (Tabela 1.0). Considerando-se todos os fatores que poderiam influenciar nos resultados, a cana-de-açúcar hidrolisada no período da tarde apresentou maior digestibilidade (Figuras 37.0, 38.0 e 39.0). Deve-se, novamente, levar em consideração que, no momento da colocação dos sacos no rúmen, que por melhor que isso tenha sido feito, eles estavam em grande quantidade, chegando a ocupar grande espaço físico do rúmen. Com isso, pode ter ocorrido uma menor exposição das amostras ao conteúdo ruminal.

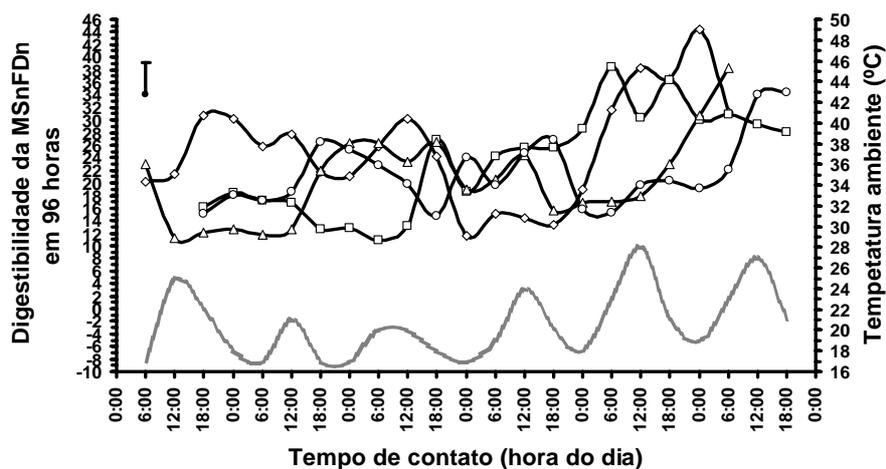


FIGURA 37 Efeito do tempo de contato sobre a digestibilidade da MSnFDN em 96 horas da cana-de-açúcar (fresca manhã = ◇; hidrolisada manhã = △; fresca tarde = □; hidrolisada tarde = ○), nos diferentes tempos (tempo zero da manhã = 6h e tempo zero da tarde = 18h), juntamente com a temperatura ambiente no período.

4.5 Implicação

A cana-de-açúcar hidrolisada e fresca, independentemente da rodada, apresentou, a partir do tempo 96 horas, sinais visíveis de deteriorização e apodrecimento, principalmente pela presença de bolores e também odor fétido.

CONCLUSÕES

A cana-de-açúcar moída à tarde mantida fresca apresentou a melhor média de MS_{55°C}, FDN e MSnFDN, diferença de temperatura, digestibilidade da MS em 24 horas e digestibilidade do FDN em 24 horas.

A menor perda de FDN, a menor temperatura final e o menor resíduo de digestibilidade em 96 horas ocorreram com a cana-de-açúcar hidrolisada pela manhã.

A menor perda de MSnFDN ocorreu na cana-de-açúcar moída pela manhã.

A maior digestibilidade da MSnFND ocorreu com a cana-de-açúcar fresca pela manhã.

Os resíduos de digestibilidade da MS e da FDN em 96 horas foram maiores na cana-de-açúcar hidrolisada à tarde, em 96 horas e incubação.

A cana-de-açúcar fresca moída à tarde foi a melhor, na maioria das variáveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCÂNTARA, E.; AGUILERA, A.; ELLIOT, R.; S, HIMADA. Fermentation and utilization by lambs of sugarcane fresh and ensiled with and without NaOH. **Animal Feed Science and Technology**, v.23, p.323-331, 1989.

ALVES, A. C. N. Fibra em detergente ácido e fibra em detergente neutro da cana-de-açúcar hidrolisada em diferentes tempos. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 44., 2007, Jaboticabal. **Anais...** Jaboticabal: SBZ, 2007. CD-ROM

ANDRADE, J.B.; FERRARI Jr. E.; BRAUN, G. Valor nutritivo da cana-de-açúcar tratada com hidróxido de sódio e acrescida de rolão de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Rio de Janeiro, v.36, p.1265-1268, 2001.

ANDRADE, J.B.; FERRARI Jr. E.; POSSENTI, R.A.; OTSUK, I.P.; ZIMBACK, L.; LANDELL, M.G.A. Composição química de genótipos de cana-de-açúcar em duas idades, para fins de nutrição animal. **Bragantia**, Campinas, v.63, n.3, p.314-349, 2004.

ATTÍLIO, D.B. Digestibilidade *in vitro* da matéria seca de cana-de-açúcar hidrolisada com hidróxido de cálcio. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 45., 2008, Lavras. **Anais...** Lavras: SBZ, 2008. CD-ROM

BASS J. M. The effect of calcium hydroxide treatment on the digestibility of chopped oat straw supplemented with a solution containing urea, calcium, phosphorus, sodium trace elements and vitamins. **Animal Feed Science Technology**, Amsterdam v.7, p.93-100, 1981.

BERGER L. Forage quality, evaluation and utilization. In: NATIONAL CONFERENCE ON FORAGE QUALITY, EVALUATION, AND UTILIZATION, 1994, Nebraska. **Proceeding...** Nebraska: University of Nebraska. 1994. p.922-966.

BOIN, C.; TEDESCHI, L.O. Cana-de-açúcar na alimentação de gado de corte. In: SIMPÓSIO SOBRE NUTRIÇÃO DE BOVINOS, 5., 1993, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 1993. p.107-126.

CAETANO, H. Cana-de-açúcar *in natura* tratada com aditivos químicos: perda de matéria seca e estabilidade aeróbia. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 45., 2008, Lavras. **Anais...** Lavras: SBZ, 2008.

CAMPOS M. M. Consumo de digestibilidade aparente da proteína bruta, extrato etéreo e consumo de nutrientes digestíveis totais de dietas de cana-de-açúcar sem ou com adição de óxido de cálcio e diferentes níveis de inclusão de uréia em ovinos. REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 44., 2007, Jaboticabal. **Anais...** Jaboticabal: SBZ, 2007.

CASALI, A.O. **Procedimentos metodológicos *in situ* na avaliação do teor de compostos indigestíveis em alimentos e fezes de bovinos.** 2006. 47p. Dissertação. (Mestrado em produção animal)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

CASTRILLÓN, M.V.; SHIMADA, A.S.; CALDERON, F.M. Manipulacion de la fermentacion em ensilajes de caña de azucar y su valor alimenticio para borregos. **Técnica Pecuária en México**, México, v.35, p.48-55, 1978.

CAVALI, J. Silagem de cana-de-açúcar tratada com óxido de cálcio: composição bromatológica e perdas. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 43., 2006, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: SBZ, 2006.

CAVALI, J. Degradabilidade ruminal de silagens de cana-de-açúcar produzidas com óxido de cálcio. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 44., 2007, Jaboticabal. **Anais...** Jaboticabal: SBZ, 2007.

CHAUDHRY, A.S. *In vitro* and *in sacco* digestibility of wheat straw treated with calcium oxide and sodium hydroxide alone or with hydrogen peroxide. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v.74, p.301-313, 1998

CHAUDHRY A.S. Nutrient composition, digestion and rumen fermentation in sheep of wheat straw treated with calcium oxide, sodium hydroxide e alkaline hydrogen peroxide. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v.74, p.315-328, 1998b.

CHAUDHRY, A. S., Rumen degradation *in sacco* in sheep of wheat straw treated with calcium oxide, sodium hydroxide and sodium hydroxide plus hydroxide plus hydrogen peroxide. **Animal Feed Science and Technology**, v.83, p.313-323, 2000.

COOMBE, J. B. Effect of Alkali Treatment on Intake and digestion of barley straw by beef steer. **Journal of Animal Science**, Champaign, v.49, p.169-176, 1979.

CORREA, C.E.S.; PEREIRA, M.N.; OLIVEIRA, S.G.; RAMOS, M.H. Performance of Holstein cows fed sugarcane or corn silage of different grain textures. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.60, n.4, p.621-629, 2003.

DOMINGUES, F.N.; OLIVEIRA, M.D.S.; SIQUEIRA, G. R. Efeito das doses de cal (CaO) microprocessada e do tempo após o tratamento sobre a estabilidade aeróbica e dinâmica de microorganismos da cana-de-açúcar *in natura*. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 43., 2006, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: SBZ, 2006.

DOMINGUES, F.N.; OLIVEIRA, M.D.S.; SIQUEIRA, G.R. Parâmetros bromatológicos da cana-de-açúcar tratada com doses crescentes de cal virgem (CaO) microprocessada em diferentes tempos de exposição ao ar. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 44., 2007, Jaboticabal. **Anais...** Jaboticabal: SBZ, 2007.

DOMINGUES, F. N., Digestibilidade *in vitro* da cana-de-açúcar tratada com doses crescentes de cal virgem (CaO) e diferentes tempos de exposição ao ar. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 45., 2008, Lavras. **Anais...** Lavras: SBZ, 2008.

EZEQUIEL, J.M.B. Processamento da cana-de-açúcar: efeitos sobre a digestibilidade, o consumo e a taxa de passagem. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.34, n.5, p.1704-1710, 2005.

GONÇALVES, L.C. **Utilização de uréia e amônia em resíduos agroindustriais**: alimentos e alimentação de gado de leite. Belo Horizonte: UFMG, 1997. 92p.

GOTO, M., YOKOE, Y. Ammonization of barley straw. Effect on cellulose crystallinity and water - holding capacity. **Animal Feed Science and Technology**, v.58, p.239-247, 1996.

GOULD, J.M. High-efficiency ethanol production from lignocellulosic residues pretreated with alkaline H₂O₂. **Biotechnology Bioengineer**, v.28, p.628-631, 1984.

- GRANZIN, B.C., Effects of alkalis, oxidants and urea on the nutritive value of Rhodes grass (*Chloris gayana* cv. Callide). **Animal Feed Science and Technology**, v.103, p.113-122, 2003.
- HADDAD, S.G. Digestibility of alkali-treated wheat straw measured *in vitro* or *in vivo* using Holstein heifers. **Journal of Animal Science**, v.72, p.3258-3265, 1994.
- HATFIELD, R.D. Structural polysaccharides in forages and their degradation. **Agronomy Journal**, Madison, v.81, n.1, p.39-46, 1989.
- JACKSON, M.G. Review article. The alkali treatment of straws. **Animal Feed Science and Technology**, v.2, p.105-130, 1977.
- JUNG, H.G. Forage lignins and their effects on fiber digestibility. **Agronomy Journal**, Madison, v.81, n.1, p.33-38, 1989.
- JUNG, H.J.G. Analysis of forage fiber and cell walls in ruminant nutrition. **The Journal of Nutrition**, v.127, p.810-813, 1997.
- KIRK, T.; FARRELL, R. Enzymatic "combustion": the microbial degradation of lignin. **Annual Review of Microbiology**, v.41, p.465-505, 1987.
- KLOPFENSTEIN, T.J. Forages and crop residues: quality evaluation and systems of utilization. **Journal Animal Science**, v.57, p.534-562, 1983.
- KOLANKAYAN, The effect of ammonia treatment on the solubilization of straw and the growth of cellulolytic rumen bacteria. **Journal of Applied Bacteriology**, v.58, p.371-379, 1984.
- LEWIS, S.M. Alkaline hydrogen peroxide treatment of crop residues to increase ruminal dry matter disappearance *in sacco*. **Animal Feed Science and Technology**, v.17, p.179-199, 1987.
- MIRANDA, D.C.L. **Perdas de matéria seca em silagem de cana-de-açúcar tratada com aditivos químicos e microbiológicos**. 2006. 74p. Dissertação (Mestrado em produção animal)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.
- MORAES, K.A.K. **Desempenho produtivo de novilhas de corte alimentadas com cana-de-açúcar tratada ou não co óxido de cálcio e diferentes ofertas de**

concentrados. 2006. 71p. Dissertação. (Mestrado em nutrição de ruminantes)- Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

MOTA, D.A.; OLIVEIRA, M.D.S, DOMINGUES, F.N. Avaliação da composição bromatológica da cana-de-açúcar *in natura* submetida ou não a hidrólise com diferentes tipos de cal. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 44., 2007. Jaboticabal. **Anais...** Jaboticabal: SBZ, 2007. CD-ROM.

NATIONAL RESERCH COUNCIL. **Nutrient requirements of dairy cattle**. 7.ed. Washington: National Academy, 2001.

OLIVEIRA, M.D.S.; SHINODA, J.; BOBRICK, R. Efeito da hidrólise com a cal hidratada (hidróxido de cálcio) sobre a digestibilidade *in vitro* da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.). In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 43., 2006, João Pessoa. **Anais...** Joao Pessoa: SBZ, 2006. CD-ROM.

OLIVEIRA, M.D.S. Avaliação da cal hidratada (hidróxido de cálcio) como agente hidrolisante da cana-de-açúcar sob diferentes tratamentos. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 44., 2007, Jaboticabal. **Anais...** Jaboticabal: SBZ, 2007.

OLIVEIRA, M.D.S.; QUEIROZ, M.A.A.; CALDEIRÃO, E.; BETT, V.; RIBEIRO, G.M. Efeito da hidrólise com NaOH sobre a digestibilidade *in vitro* da matéria seca da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.). **Ars Veterinária**, Jaboticabal, v.18, n.2, p.167-173, 2002.

PIRES, A.J.V.; ROTH, M.T.P.; ROTH, A.P.T.P. Inoculantes microbiológicos e aditivos químicos na fermentação e estabilidade aeróbica das silagens de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) cru e queimada. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 41., 2004, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande: SBZ, 2004.

REIS, R.A. Amonização de resíduos de culturas de inverno, **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v. 22, n. 5, p. 787-793, 1993.

REIS, R.A. Amonização de forrageiras de baixa qualidade. In: SIMPÓSIO DO COLÉGIO BRASILEIRO DE NUTRIÇÃO ANIMAL, 12., 1995. Jaboticabal. **Anais...** Jaboticabal 1995. p.89-104.

RIBEIRO R.J.M.C. Treatment of straws. **Options Méditerranéennes** – Series Séminaires, n.16, p.55-60, 1991.

SANTOS, M.C. **Aditivos químicos para o tratamento da cana-de-açúcar *in natura* e ensilada (*Saccharum officinarum* L.)**. 2007. 112p. Dissertação. (Mestrado em nutrição animal)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP.

SANTOS, M.C. Avaliação de constituintes da parede celular de cana-de-açúcar (“*Saccharum officinarum*”L.) “*In natura*” tratada com doses crescentes de óxido de cálcio. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 43., 2006, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: SBZ, 2006.

SAS INSTITUTE. **SAS User’s Guide**: statistics. Cary, North Caroline, 1985.

SILANIKOVIC, N. Effect of CaO or NaOH-hydrogen peroxide treatments on the composition and *in vitro* digestibility of cotton straw. **Bioresource Technology**, Essex, v.48, p.71-73, 1994.

SUNDSTØL, F. Straw and other fibrous by products. **Livestock Production Science**, Amsterdam, v.19, p.137-158, 1988.

SUNDSTØL, F. Improvement of poor quality forage and roughages. **Feed Science**, v.10, p.257-177, 1998.

TEIXEIRA, C.B. **Determinantes da degradabilidade entre clones de cana-de-açúcar no rúmen de bovinos.**. 2004. Dissertação (Mestrado em nutrição de ruminantes)-Universidade Federal de Lavras, Lavras.

VALADARES FILHO, S.C.; PAULINO, P.V.R.; MAGALHAES, K.A. et al. Modelos nutricionais alternativos para otimização de renda na produção de bovinos de corte. In: SIMCORTE – SIMPÓSIO DE PRODUÇÃO DE GADO DE CORTE, 3., 2002, Viçosa. **Anais...**Viçosa, MG: UFV, 2002. p.19.

VAN SOEST, P.J. **Nutritional ecology of the ruminant**. 2.ed. London: Cornstock/Cornell University, 1994. 476p.