

ESTELA JORGE ALVES DA SILVA

**Efeitos da aeração ou do teor de carboidratos solúveis
sobre as características da silagem de cana-de-açúcar**

Pirassununga - SP

2007

ESTELA JORGE ALVES DA SILVA

**Efeitos da aeração ou do teor de carboidratos solúveis
sobre as características da silagem de cana-de-açúcar**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Nutrição e Produção Animal da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Medicina Veterinária

Departamento:

Nutrição e Produção Animal

Área de concentração:

Nutrição e Produção Animal

Orientador:

Prof. Dr. Paulo Henrique Mazza Rodrigues

Pirassununga - SP

2007

Autorizo a reprodução parcial ou total desta obra, para fins acadêmicos, desde que citada a fonte.

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO-NA-PUBLICAÇÃO

(Biblioteca Virgínia Buff D'Ápice da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo)

T.1853 FMVZ	<p>Silva, Estela Jorge Alves da Efeitos da aeração ou do teor de carboidratos solúveis sobre as características da silagem de cana-de-açúcar / Estela Jorge Alves da Silva. – Pirassununga : E. J. A. Silva, 2007. 76 f. : il.</p> <p>Dissertação (mestrado) - Universidade de São Paulo. Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia. Departamento de Nutrição e Produção Animal, 2007.</p> <p>Programa de Pós-Graduação: Nutrição e Produção Animal. Área de concentração: Nutrição e Produção Animal.</p> <p>Orientador: Prof. Dr. Paulo Henrique Mazza Rodrigues.</p> <p>1. Aeração. 2. Cana-de-açúcar. 3. Carboidratos solúveis. 4. Fermentação. 5. Valor nutritivo. 6. Silagem I. Título.</p>
----------------	---



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia
Assistência Acadêmica

Comissão de Bioética

CERTIFICADO

Certificamos que o Projeto intitulado "Efeitos da aeração e dos teores de carboidratos solúveis sobre as características da silagem de cana-de-açúcar", protocolo nº704/2005, não utilizando animais, sob a responsabilidade do Prof. Dr. Paulo Henrique Mazza Rodrigues, está de acordo com os princípios éticos de experimentação animal da Comissão de Bioética da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo e foi aprovado "ad referendun".

(We certify that the Research "Effects of aeration and water soluble carbohydrates level in sugar cane silage", protocol number 704/2005, not utilizing animais, under the responsibility of Prof. Dr. Paulo Henrique Mazza Rodrigues, agree with Ethical Principles in Animal Research adopted by Bioethic Commission of the Faculty of Veterinary Medicine and Zootechny of University of São Paulo and was approved "ad referendun", meeíng).

São Paulo, 30 de setembro de 2005

Prof³ Dr³ Júlii Presidente da Comissão de
Bioética FMVZÀJSP

FOLHA DE AVALIAÇÃO

Nome: SILVA, Estela Jorge Alves da

Título: Efeitos da aeração ou do teor de carboidratos solúveis sobre as características da silagem de cana-de-açúcar

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Nutrição e Produção Animal da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Medicina Veterinária

Aprovado em: ____/____/____

Banca Examinadora

Prof. Dr. _____

Instituição: _____

Assinatura : _____

Julgamento: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____

Assinatura : _____

Julgamento: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____

Assinatura : _____

Julgamento: _____

À Deus, pela vida, por não me deixar esmorecer nos momentos difíceis para que agora eu possa partilhar essa vitória com todas as pessoas que amo e que de alguma forma me ajudaram na realização desse trabalho.

Às pessoas mais importantes da minha vida, meus pais, pela vida, pelos bons exemplos, pelo incentivo, carinho e por me ensinaram a nunca ter medo ou desistir sem ao menos tentar. Por me mostrarem que o amor sempre vence. Amo vocês mais do que tudo.

Ao meu irmão Eduardo (in memoriam), por ter feito parte da minha vida, me fez enxergar o mundo de um modo diferente e me ajudou a ser uma pessoa melhor.

Aos meus avós, pela dedicação à família, por sempre estarem juntos na batalha da vida, por serem exemplo de união, fé, solidariedade e amor ao próximo.

A todos aqueles que direta ou indiretamente ajudaram na realização deste intuito,

Dedico este trabalho, com todo o meu amor, respeito e gratidão!

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Doutor Paulo Henrique Mazza Rodrigues, orientador sempre presente, por toda a confiança depositada em mim, compreensão nos momentos árduos dessa jornada e por me apresentar ao maravilhoso mundo da pesquisa,

A todos os docentes do Departamento de Nutrição e Produção Animal (VNP),

A dois grandes profissionais e amigos, Gilmar e Everson, da seção do estábulo experimental, pela atenção, respeito e amizade com que sempre nos trataram, pela grande ajuda no período experimental e pelos bons momentos que passamos juntos,

A todos os funcionários do VNP e em especial às secretárias Cris e Alessandra e ao Júnior que tanto nos ajudaram pelo empenho e eficiência e pela delicadeza com que nos distinguiram,

À equipe do laboratório de bromatologia do VNP, em especial ao Ari, pelos ensinamentos, pela paciência e dedicação dispensadas a mim e ao presente trabalho, Gilson, Simi e Isabel, pela inestimável ajuda nas análises laboratoriais,

Aos funcionários das bibliotecas da FZEA e da FMVZ, pelo auxílio com as pesquisas e com a formatação do trabalho,

À Paula Meyer, por sua gentileza em revisar as versões para a língua inglesa,

À Raquel Helena Fernandes, além de companheira de quarto, por se tornar uma grande amiga, ao longo desse período e por ter colaborado comigo nos aspectos profissional e pessoal,

À Adriana Aquino, por ter me ensinado muito, me ajudado nos bons e maus momentos e por tornar minha estada muito agradável,

Ao José Ricardo Lobo, ao Luis Felipe, à Carolina Bacha, à Poliana Arruda, pelo carinho e colaboração, amizades que não serão esquecidas ao longo da minha vida, desejo sucesso a todos,

A todos meus amigos que sempre torceram por mim, Carolina Bueno, Mariana Balhes, Marcela Tocchet, Stefano Rocco, Daniela Figueroa, amizades que espero carregar a vida toda,

A todos meus colegas de pós-graduação da FMVZ e da FZEA, pela amizade e convivência harmônica e feliz,

A todos os que contribuíram direta ou indiretamente para realização deste trabalho,

Agradeço sinceramente!

O Senhor é meu Pastor: nada me faltará!
Em verdes pastagens o Senhor me faz repousar.
Para as águas tranqüilas me conduz
e restaura minhas forças;
ele me guia por bons caminhos, por causa do
seu nome.
Ainda que eu caminhe por um vale tenebroso
nenhum mal temerei, pois estais junto a mim;
vosso bastão e vosso cajado me deixam
tranqüilo.
Diante de mim preparastes uma mesa,
à frente dos meus opressores;
ungis minha cabeça com óleo
e minha taça transborda.
Sim, felicidade e amor me seguirão
todos os dias da minha vida;
minha morada é a casa do Senhor
por dias sem fim.

Salmo 22

RESUMO

SILVA, E. J. A. **Efeitos da aeração ou do teor de carboidratos solúveis sobre as características da silagem de cana-de-açúcar.** [Effects of aeration or water soluble carbohydrates on sugarcane silage]. 2007. 76 f. Dissertação (Mestrado em Medicina Veterinária) – Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2007.

Foi objetivo do presente estudo avaliar os efeitos do tempo de aeração ou do teor de carboidratos solúveis sobre as características nutricionais e fermentativas da silagem de cana-de-açúcar. Para tal foram realizados dois experimentos em delineamento inteiramente casualizado com 3 tratamentos e quatro repetições por tratamento, utilizando-se 12 silos experimentais, confeccionados a partir de baldes plásticos com 6 litros de capacidade. O primeiro ensaio contou com três tratamentos correspondentes aos diferentes tempos de aeração (0, 4 e 8h). No segundo ensaio a cana-de-açúcar passou por moagem, para a retirada do caldo. No primeiro tratamento, todo o caldo retirado foi retornado à cana (100%). No segundo tratamento, apenas 50% do caldo foi retornado à cana, com 50% de água. No terceiro, 100% de água foi adicionada, sem a adição do caldo. Os silos foram abertos após 85 dias de ensilagem, ocasião em que foram determinados os teores dos ácidos orgânicos, estabilidade aeróbia e a composição químico-bromatológica das silagens. No primeiro ensaio observou-se desvio da linearidade ($P < 0,05$) do tempo de aeração sobre os teores de matéria seca. Efeito linear ($P < 0,05$) crescente foi observado sobre os teores de fibra detergente ácido, fibra detergente neutro e carboidratos solúveis, porém decrescente para a digestibilidade *in vitro* da matéria seca. Sobre os teores de ácidos orgânicos, observou-se desvio da linearidade sobre o ácido acético e comportamento linear ($P < 0,05$) decrescente para o ácido láctico e butírico, bem como para os valores de pH. Os valores de etanol observados foram em torno de 22% da MS, apesar de considerados elevados, independente do tempo de aeração, esses valores não foram significativos. A estabilidade aeróbia da silagem piorou com o aumento do tempo de aeração. No segundo ensaio observou-se efeito linear ($P < 0,05$) decrescente do conteúdo de carboidratos sobre os teores de matéria seca, o mesmo ocorrendo para carboidratos solúveis e digestibilidade *in vitro* da matéria seca. Foi observado aumento linear ($P < 0,05$) nos teores de fibra detergente ácido, fibra detergente neutro e lignina. Observou-se efeito linear ($P < 0,05$) decrescente para o etanol, ácido láctico, butírico e perdas de matéria

seca. Efeito linear ($P < 0,05$) crescente foi observado sobre as concentrações de ácido acético, valores de pH e nitrogênio amoniacal. Os dados de estabilidade aeróbia foram inconclusivos. A produção de etanol seria nula se a cana-de-açúcar contivesse apenas 12,4% de carboidratos solúveis com base na matéria seca.

Palavras-chave: Aeração. Cana-de-açúcar. Carboidratos solúveis. Fermentação. Valor nutritivo. Silagem.

ABSTRACT

SILVA, E. J. A. **Effects of aeration or water soluble carbohydrates on sugarcane silage.** [Efeitos da aeração e do teor de carboidratos solúveis sobre as características da silagem de cana-de-açúcar]. 2007. 76 f. Dissertação (Mestrado em Medicina Veterinária) – Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2007.

This trial aimed at evaluating the effects of aeration time or contents of water-soluble carbohydrate on nutritive value and other fermentative characteristics of sugarcane silage. Two experiments was used in a completely randomized design with three treatments and four repetitions per treatment, the material was ensiled in 12 laboratory silos (6 liter-capacity plastic buckets). In experiment I fresh chopped sugarcane was exposed to aeration for 0, 4 or 8 hours, and ensiled soon after. In experiment II sugarcane was squeezed in order to remove juice. In the first treatment, juice was totally added back to sugarcane (100%). In the second treatment, only 50% of the juice were added back to sugarcane, along with 50% of water. In the third, 100% of water were added, with no addition of juice. Silos were opened 85 days after ensiling, when organic acids contents and chemical composition of silages were determined. In first experiment deviation of linearity ($P < 0.05$) was observed for aeration time on dry matter content. Positive linear effect was observed ($P < 0.05$) on ADF, NDF and soluble carbohydrates content, but negative for in vitro digestibility of dry matter. For organic acids content, deviation of linearity ($P < 0.05$) was observed on acetic acid, with the lowest content (1.5% of DM) observed after 8 hours of aeration, and negative linear effect ($P < 0.05$) was observed for lactic and butyric acids, as well as for pH values. There were no effects on ethanol concentration, which remained very high (22% of DM), independent on the aeration time. Aerobic stability of silage worsened with the increase of aeration time. In second experiment, withdrawal of sugarcane WSC resulted in negative linear effects ($P < 0.05$) on dry matter, soluble carbohydrate contents and on in vitro digestibility of dry matter, but with linear increase for ADF, NDF and lignin contents. About fermentation data, there was linear decrease for dry matter losses, lactic and butyric acids and ethanol contents. Positive linear effects ($P < 0.05$) were observed on pH values and ammoniacal nitrogen and acetic acid contents. Data from aerobic stability were inconclusive Ethanol production would be null if sugarcane had only 12.4% of water-soluble carbohydrates on dry matter basis.

Key Words: Aeration. Fermentation. Nutritive value. Silage. Soluble carbohydrates. Sugarcane

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Relação entre as concentrações de carboidratos solúveis da planta (% da MS) e as concentrações de etanol na silagem (em % da MS).....	70
--	----

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO III - Efeitos da aeração sobre as características da silagem de cana-de-açúcar	
Tabela 1 - Composição bromatológica da cana-de-açúcar fresca, expressas em % com base na matéria seca.....	42
Tabela 2 - Composição bromatológica das silagens.....	44
Tabela 3 - Perfil fermentativo das silagens.....	46
Tabela 4 - Estabilidade aeróbia das silagens.....	49
CAPÍTULO IV - Efeitos do teor de carboidratos solúveis sobre as características da silagem de cana-de-açúcar	
Tabela 1 - Composição bromatológica da cana-de-açúcar fresca, expressas em % com base na matéria seca.....	63
Tabela 2 - Composição bromatológica das silagens.....	65
Tabela 3 - Perfil fermentativo das silagens.....	68
Tabela 4 - Estabilidade aeróbia das silagens.....	71

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AGVs	- ácidos graxos voláteis
CHOs	- carboidratos solúveis
CV	- coeficiente de variação
PB	- proteína bruta
FDA	- fibra em detergente ácido
FDN	- fibra em detergente neutro
NIDA	- nitrogênio insolúvel em detergente ácido
DIVMS	- digestibilidade <i>in vitro</i> da matéria seca
PT	- poder tampão
h	- hora
kg	- quilos
MS	- matéria seca
N	- nitrogênio
N-NH ₃	- nitrogênio amoniacal
NS	- não significativo
PB	- proteína bruta
Prob.	- probabilidade
Trat.	- tratamento

SUMÁRIO

CAPÍTULO I

1 INTRODUÇÃO.....	15
--------------------------	-----------

CAPÍTULO II

1 REVISÃO DE LITERATURA.....	17
-------------------------------------	-----------

1.1 CAUSAS DA FERMENTAÇÃO ALCOÓLICA DE SILAGENS.....	17
--	----

1.1.1 Leveduras.....	18
----------------------	----

1.1.2 Efeitos da presença de oxigênio.....	19
--	----

1.1.3 Efeitos do teor de matéria seca.....	20
--	----

1.1.4 Efeitos do teor de carboidratos solúveis.....	21
---	----

1.1.5 Bactérias ácido-láticas.....	22
------------------------------------	----

1.1.5.1 Fermentação de ácidos orgânicos.....	22
--	----

1.1.6 Efeitos do uso de aditivos.....	23
---------------------------------------	----

1.1.6.1 Efeitos da adição de ácidos.....	24
--	----

1.1.6.2 Efeitos da adição de álcalis.....	25
---	----

1.1.6.3 Efeitos de aditivos microbianos.....	25
--	----

1.1.6.3.1 <i>Efeitos da adição de bactérias produtoras de ácido lático.....</i>	<i>26</i>
---	-----------

1.1.6.3.2 <i>Efeitos da adição de bactérias produtoras de ácido acético.....</i>	<i>27</i>
--	-----------

1.1.6.4 Efeitos da adição de leveduras.....	28
---	----

1.2 CONSEQÜÊNCIAS DA FERMENTAÇÃO ALCOÓLICA DE SILAGENS....	29
---	-----------

1.2.1 Consequências da fermentação sobre a qualidade da silagem.....	29
---	-----------

1.2.2 Consequências sobre o rúmen.....	29
---	-----------

REFERÊNCIAS.....	31
CAPÍTULO III EFEITOS DA AERAÇÃO SOBRE AS CARACTERÍSTICAS DA SILAGEM DE CANA-DE-AÇÚCAR.....	35
RESUMO.....	35
ABSTRACT.....	36
1 INTRODUÇÃO.....	37
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	39
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	42
4 CONCLUSÕES.....	50
REFERÊNCIAS.....	51
CAPÍTULO IV EFEITOS DO TEOR DE CARBOIDRATOS SOLÚVEIS SOBRE AS CARACTERÍSTICAS DA SILAGEM DE CANA-DE-AÇÚCAR.....	55
RESUMO.....	55
ABSTRACT.....	56
1 INTRODUÇÃO.....	57
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	59
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	63
4 CONCLUSÕES.....	72
REFERÊNCIAS.....	73
CAPÍTULO V CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	76

CAPÍTULO I

1 INTRODUÇÃO

A produção de silagem é um dos processos mais importantes na conservação de plantas forrageiras. Para servir como alimento principalmente durante o período de escassez de pastagens. Este processo é de grande importância econômica para a maioria dos países do mundo, inclusive o Brasil, em virtude da produção irregular das plantas forrageiras durante as estações do ano (ANDRIGUETTO, 1988).

O termo silagem é usado para designar o material produzido por fermentação de uma forragem com alto teor de umidade (MCDONALD; HENDERSON; HERON, 1991). Segundo Pupo (1979), ensilagem é o processo fermentativo em condições anaeróbias que produz ácidos, evitando a formação de microorganismos indesejáveis.

Imediatamente após o corte da forragem e durante os estágios iniciais de ensilagem ocorrem alterações, devido ao metabolismo das células da planta e presença de microorganismos, como bactérias, fungos e leveduras (MCDONALD; HENDERSON; HERON, 1991).

As transformações que ocorrem no processo de ensilagem se devem à respiração aeróbia das plantas, que mesmo depois de cortadas continuam respirando até o esgotamento de oxigênio, e às fermentações realizadas pelos microorganismos presentes na silagem (WATSON; NASH, 1960).

De acordo com McDonald, Henderson e Heron (1991), ocorrem três tipos principais de fermentação na massa ensilada: fermentação láctica, fermentação acética e fermentação butírica, sendo a primeira a mais desejada de todas.

Ao utilizar a cana-de-açúcar ensilada, observa-se a ocorrência de fermentação alcoólica, devido ao alto teor de carboidratos solúveis presente na cana e a população de leveduras epífitas. Esse tipo de fermentação acarreta perdas de matéria seca e de valor nutritivo da forragem. Na tentativa de reduzir a população de leveduras, a utilização de aditivos no processo de ensilagem da cana-de-açúcar têm sido amplamente estudada.

Para que se obtenha alta produção, é necessário que se ofereça alimentação de qualidade aos rebanhos comerciais. Como alternativa, sugerimos em hipótese a redução do

teor de carboidratos solúveis e a redução de umidade do material a ser ensilado, como possibilidade de controlar a fermentação alcoólica.

Entretanto, algumas características que determinam ou favorecem a fermentação alcoólica de silagens de cana-de-açúcar precisam ser melhor compreendidas.

CAPÍTULO II

1 REVISÃO DE LITERATURA

1.1 CAUSAS DA FERMENTAÇÃO ALCOÓLICA DE SILAGENS

Após a ensilagem, os microorganismos capazes de crescer em anaerobiose (bactérias ácido-láticas, enterobactérias, *Clostridium*, alguns bacilos e leveduras) iniciam seu crescimento e competem pelos nutrientes disponíveis. As mudanças nos primeiros dias são críticas ou determinantes para o sucesso ou fracasso da fermentação subsequente. Se as condições forem favoráveis, as bactérias ácido-láticas irão acidificar rapidamente o meio. Logo, os organismos que competem com elas não serão capazes de sobreviver e o resultado final será de uma silagem estável e com baixo pH. Se o pH não for baixado rapidamente o bastante, os microorganismos indesejáveis (principalmente enterobactérias, Clostrídios e leveduras) irão competir pelos nutrientes e, com isso, reduzirão as chances de obtenção de uma silagem estável, já que a maioria de seus produtos não contribui para a preservação e também são capazes de resultar em produtos finais que reduzem o valor nutritivo da silagem (MCDONALD; HENDERSON; HERON, 1991).

Chamberlain (1987) postulou que a rápida acidificação durante as primeiras fases da fermentação poderia favorecer o desenvolvimento de leveduras e promover, portanto, a redução de açúcares residuais a etanol. Embora de pouca importância durante a fermentação, as leveduras são os principais agentes causadores da deterioração aeróbia, seguidas dos *Bacillus* spp (MCDONALD; HENDERSON; HERON, 1991).

As bactérias são principalmente responsáveis pela produção de ácidos e perda de açúcar na silagem. O álcool é inicialmente produzido na silagem como resultado da atividade enzimática da planta e mais tarde pela fermentação realizada por leveduras. A proteólise é iniciada por enzimas da planta e subsequentemente pela atividade microbiana. Já o dióxido de

carbono é liberado por enzimas ou alterações respiratórias da planta, sendo que as leveduras são responsáveis por essa produção após o primeiro ou segundo dia (WOOLFORD, 1984).

1.1.1 Leveduras

Woolford (1984), McDonald, Henderson e Heron (1991) e Correia (1980) relataram que as leveduras são as principais responsáveis pela fermentação alcoólica e, conseqüentemente, pela produção de etanol na silagem, principalmente nas camadas superiores do silo. Na formação do etanol pelas leveduras, uma molécula de glicose é fermentada em duas moléculas de etanol e duas moléculas de dióxido de carbono.

As leveduras da silagem são capazes de produzir ácido láctico, ácidos graxos voláteis e álcool (MCDONALD; HENDERSON; HERON,1991). Embora Woolford (1984) tenha demonstrado que as leveduras são capazes de produzir lactato e acetato pela fermentação dos açúcares, sua presença na silagem não é considerada desejável. Isto, primariamente, porque estão associadas com a deterioração aeróbia e, segundo, porque competem com as bactérias lácticas pelo substrato, o qual é fermentado principalmente em etanol, o que contribui pouco para a preservação da silagem (MCDONALD; HENDERSON; HERON, 1991).

Na silagem onde a fermentação alcoólica é predominante, observa-se sensível elevação da temperatura e, ao ser examinada, exala odor de álcool característico. A causa principal deste tipo de fermentação é a má compactação da massa ensilada (PUPO, 1979). Inicialmente a atividade das leveduras aparecem aumentadas em forrageiras com pH menor que 5,0, devido à adição de aditivos ácidos e em forrageiras com alta quantidade de açúcar, como por exemplo a cana-de-açúcar. Este tipo de forrageira freqüentemente resulta em silagem com alta quantidade de etanol e baixa quantidade de ácido láctico (WEINBERG, 1988).

A cana-de-açúcar, quando ensilada sem aditivos, apresenta perda no valor nutritivo e fermentação principalmente alcoólica, com diminuição no conteúdo total de açúcares e sacarose, bem como produção de etanol originada pelo desenvolvimento de leveduras na silagem (GONZÁLEZ; MCLEOD, 1976; PRESTON; HINOJOSA; MARTINES, 1976; ALLI; BAKER; GARCIA, 1982).

O etanol produzido na silagem não só diminui a quantidade de açúcares disponíveis para a fermentação ácido-lática, mas também causa um efeito negativo no sabor do leite (RANDBY; SELMER-OLSEN; BAEVRE, 1999)

De acordo com McDonald, Henderson e Heron (1991), as leveduras podem ser inibidas por ácidos orgânicos, como o lático e o acético, isto porque estes ácidos desacoplam parte do sistema de transporte ativo das leveduras, envolvido na formação de ATP. As moléculas não dissociadas passam para dentro da célula da levedura por difusão passiva e a dissociação dessas moléculas deixa íons H^+ livres. Isto reduz o pH intracelular, o que destrói as células, a menos que os íons sejam transportados para fora da célula por transporte ativo, processo que requer energia. Em condições anaeróbicas esta energia é provida pela fermentação dos açúcares, por isso a presença adequada de açúcar é necessária para a sobrevivência das leveduras em meio ácido. Este processo poderia explicar porque um grande número de leveduras é frequentemente encontrado em silagens contendo carboidratos solúveis residuais. A presença de açúcares residuais pode também influenciar a assimilação de lactato pelas leveduras em condições aeróbicas, porque algumas leveduras como a *Sacharomyces cerevisiae*, tem um sistema de transporte ativo para o lactato e outros ácidos orgânicos, o que pode substituir o uso de glicose, e garantir a sobrevivência dessas leveduras.

1.1.2 Efeitos da presença de oxigênio

A fermentação alcoólica ocorre quando há respiração intensa da massa ensilada, devido à presença de grandes quantidades de ar em seu interior. Em estudos, McDonald, Henderson e Heron (1991) detectaram grande concentração de etanol na silagem aerada. É possível que as leveduras se multipliquem mais rapidamente na silagem quando há ar presente e depois produzam o etanol em condições de anaerobiose.

Embora Woolford (1984) tenha considerado as leveduras como microorganismos de maior importância no processo de ensilagem. McDonald, Henderson e Heron (1991) relataram que as leveduras participam da minoria das reações durante a fermentação. Entretanto, são causadoras de perdas durante a deterioração aeróbia, especialmente após a abertura do silo.

Um silo que não tenha sido bem vedado permite o crescimento de leveduras do gênero *Cândida* e *Hansenula*, que utilizam o lactato. Em contrapartida, um silo em condições de anaerobiose reduz a população de leveduras capazes de utilizar lactato para 15%, sendo os 85% restantes espécies do gênero *Sacharomyces*, também capazes de fermentar, mas não de consumir o lactato (HARRISON; BLAUWIEKEL; STOKES, 1994)

Investigações sobre as causas da instabilidade da silagem em relação à exposição ao ar revelaram o envolvimento de 2 grupos de leveduras: (a) leveduras de sedimento, leveduras que fermentam açúcares, mas não decompõem o ácido láctico e aparecem como membros exclusivos do gênero *Torulopsis*, e (b) leveduras de superfície, leveduras que têm fraca ação fermentativa, mas decompõe ácido láctico e tem alta atividade respiratória (WOOLFORD, 1984). Posteriormente foram isoladas leveduras dos gêneros *Cândida*, *Hansenula* e *Pichia*, e ocasionalmente *Sacharomyces*. Membros desses e de outros gêneros têm sido isolados na silagem. Nos isolamentos foram identificadas: *Candida krusei*, *Candida intermedia*, *Candida parapsiloses*, *Candida melinii*, *Candida silvicola*, *Candida tenuis*, *Candida valida*, *Endomyces burtonii*, *Endomycopsis selenospora*, *Hansenula polymorpha*, *Hansenula subpelliculosa*, *Pichia fermentans*, *Pichia media*, *Pichia polymorpha*, *Torulopsis candida*, *Torulopsis glabrata* e *Torulopsis inconspícua* (GALLO; CANHOS, 1991).

1.1.3 Efeitos do teor de matéria seca

McDonald, Henderson e Heron (1991) afirmaram que o crescimento das leveduras é favorecido pela elevação do teor de matéria seca nas silagens. Entretanto, Woolford (1984) associou a quantidade de matéria seca à má compactação do material ensilado. Silagens com elevado teor de matéria seca são mais resistentes à compactação e, se a massa não for compactada com eficiência, ocorrerá entrada de ar, propiciando a ação de microorganismos indesejáveis, como as leveduras (RAYMOND; WALTHAM, 1996).

Recomenda-se ensilar uma planta forrageira quando seu teor de matéria seca (MS) estiver entre 30 e 35% (BANYS et al., 1999). Teores abaixo de 30 % de MS podem provocar perdas por lixiviação de até 8% de nutrientes na silagem, além de favorecer as fermentações acética e butírica. Teores acima de 35% dificultam a compactação do material a ser ensilado,

permitindo respiração intensa da forragem picada, levando à ocorrência da fermentação alcoólica (CONSENTINO, 1978).

Hargreaves, Butendieck, Hiriart (1986) observaram que, submetendo a forrageira por um período de pré-murchamento (24 horas), as contagens de leveduras aumentam de 200 para 10.000 UFC/g de matéria seca. Os principais gêneros isolados neste caso foram: *Cryptococcus*, *Rhodotorula*, *Sporobolomyces*, *Aureobasidium* e *Torulopsis*.

1.1.4 Efeitos do teor de carboidratos solúveis

Em silagens ricas em carboidratos solúveis, como as de milho e cana-de-açúcar, se observam grandes quantidades de leveduras (MCDONALD; HENDERSON; HERON, 1991).

A cana-de-açúcar ensilada apresenta problemas de fermentação devido a grande quantidade de carboidratos solúveis presente. Fato que leva à necessidade de estudos mais profundos em relação à utilização de técnicas que minimizem a produção de álcool e priorizem a fermentação láctica. Assim, espera-se que o material ensilado torne-se estável com menor quantidade de carboidratos solúveis, dificultando a atividade de leveduras produtoras de álcool.

Na fermentação da cana-de-açúcar ocorre extensa atividade de leveduras, que convertem o açúcar em CO₂, água e etanol. Essa conversão resulta em menor valor nutritivo e elevadas perdas durante a estocagem e no fornecimento da silagem aos animais, levando à redução no teor de carboidratos solúveis, baixos teores de ácido láctico e ácido acético, bem como aumento relativo no teor de FDA das silagens (RAYMOND; WALTHAM, 1996).

No caso da cana-de-açúcar, é possível que a rápida produção do ácido láctico favoreça a preservação de maior quantidade de carboidratos solúveis, que, juntamente com o baixo pH, favoreçam o desenvolvimento de leveduras, direcionando a produção de etanol (CHAMBERLAIN, 1987).

McDonald, Henderson e Heron (1991) também descreveram que as enterobactérias são capazes de fermentar carboidratos em grandes quantidades de lactato, acetato, formato e succinato, bem como pequenas quantidades de etanol.

1.1.5 Bactérias ácido-láticas

Correia (1980) concluiu que as bactérias ácido-láticas heterofermentativas são capazes de gerar etanol, convertendo a glicose em lactato, etanol e CO₂. Em seus trabalhos, Woolford (1984) verificou que a quantidade de etanol na silagem era muito grande para ser derivada apenas da fermentação alcoólica feita pelas leveduras e que possivelmente grande parte do etanol era formada pela fermentação heterolática.

Em condições de anaerobiose, as bactérias ácido-láticas metabolizam ampla cadeia de substratos, usando uma variedade de vias. As vias seguidas pela fermentação de hexoses foram a base para sua identificação. As bactérias ácido-láticas dividem-se em três grupos fisiologicamente distintos (MCDONALD; HENDERSON; HERON, 1991).

1- Homofermentativas obrigatórias: fermentam hexoses quase que exclusivamente em ácido lático, mas, as pentoses e gluconato não são fermentados. Elas possuem frutose-bifosfato-aldolase (FBP), mas não fosfoquetolase (necessária para a produção do álcool).

2- Heterofermentativas facultativas: possuem FBP e fermentam hexoses quase que exclusivamente em ácido lático, e, são capazes de fermentar pentoses em ácidos lático e acético usando fosfoquetolase.

3- Heterofermentativas obrigatórias: fermentam hexoses em ácido lático, ácido acético e etanol, bem como dióxido de carbono. Possuem fosfoquetolase, mas não FBP.

Em uma classificação mais simples, Consentino (1978) dividiu a fermentação láctica em dois tipos: 1) Aquela onde um mol de glicose produz de 1,8 a 2,0 moles de ácido lático é denominada homolática. 2) Com a produção de menos de 1,8 moles de ácido lático (com produção também de ácido acético, etanol, acetaldeído, etc.), a partir de um mol de glicose, denomina-se fermentação heterolática. Em condições de anaerobiose, as bactérias homoláticas produzem dois moles de ácido lático a partir da glicose ou frutose. Já as bactérias heteroláticas produzem um mol de ácido lático, um de etanol e um de CO₂ por mol de glicose, sendo aquele tipo de fermentação o mais desejável durante o processo de ensilagem.

1.1.5.1 Fermentação de ácidos orgânicos

Além dos glicídios, também outros componentes das forragens são modificados durante a fermentação. Assim, os ácidos orgânicos citrato e malato são fermentados, por

diversas vias, originando a produção de diversos produtos finais, inclusive lactato, acetato, formato, etanol, 2,3-butanodiol e acetoína (CORREIA, 1980; MCDONALD; HENDERSON; HERON, 1991).

Woolford (1984) relatou que o desaparecimento dos ácidos orgânicos durante a ensilagem é provavelmente devido à fermentação pelas bactérias lácticas. Segundo McDonald, Henderson e Heron (1991), algumas bactérias ácido-láticas podem fermentar ácidos orgânicos, sendo que o lactato e acetato são os principais produtos.

1.1.6 Efeitos do uso de aditivos

Pode-se intervir no processo da fermentação através da utilização de substâncias que atuem seja como fonte de nutrientes, preservativos ou acidificantes, tendo for finalidade fornecer condições adequadas para a produção de uma silagem de melhor qualidade, controlando os microorganismos indesejáveis (ANDRIGUETTO, 1988).

O controle da fermentação é considerado de grande importância no processo de ensilagem. Porém, no desenvolvimento de aditivos, têm-se dado grande importância aos métodos que melhorem o valor nutricional e reduzam as perdas de matéria seca na silagem.

O objetivo do uso de aditivos na silagem é assegurar que a fermentação feita pelas bactérias ácido-láticas seja dominante, resultando em uma silagem bem preservada. Antes de um aditivo ser aceito comercialmente, deve-se provar que não é tóxico para os animais e, em particular, não possua efeitos adversos para a fermentação ruminal (MCDONALD; HENDERSON; HERON, 1991).

Os experimentos pioneiros com aditivos objetivaram avaliar o uso de soluções de amônia, para o controle de fungos e leveduras em silagens de milho e obtiveram resultados promissores (BRITT; HUBER; ROGERS, 1975). Em trabalhos testando combinações de uréia com melão e amônia aquosa, na silagem de cana-de-açúcar, Alvarez e Preston (1976) e Preston, Hinojosa e Martinez (1976) verificaram queda na produção de etanol, constatando ainda que ambas as soluções apresentaram efeito positivo sobre a preservação da silagem.

Os aditivos que se encontram a disposição do produtor podem ser classificados como inibidores ou estimulantes da fermentação. Os mais utilizados são os estimulantes microbianos da fermentação, mas também são bastante comuns, em outros países, os ácidos

(propiónico e fórmico), fontes de nitrogênio não protéico (amônia e uréia) e enzimas (HARRISON; BLAUWIEKEL; STOKES, 1994).

1.1.6.1 Efeitos da adição de ácidos

McDonald, Henderson e Heron (1991) relataram que a adição de ácido fórmico na silagem de centeio inibiu as bactérias ácido-láticas, mas não os microorganismos responsáveis pela produção de ácido acético e etanol. As leveduras se encontraram particularmente tolerantes ao ácido fórmico, pois apareceram em grande número, sendo responsabilizadas pela alta quantidade de etanol.

Contrariamente, Dawson et al. (2002) e Schmidt et al. (1997) concordam que o ácido fórmico suprime a atividade fermentativa das bactérias ácido-láticas e das leveduras, evitando assim a formação de etanol.

Já o ácido propiónico, geralmente mais empregado na preservação de grãos estocados, tem sido relatado, por alguns autores, como possuidor de efeito benéfico na inibição da deterioração aeróbia da silagem. De acordo com McDonald, Henderson e Heron (1991), o ácido propiónico inibe a maioria, porém não todos, os microorganismos responsáveis pela deterioração aeróbia da silagem, e somente quando utilizado em altas concentrações. Entretanto, como aditivo para restringir a fermentação, o ácido propiónico é menos efetivo que o ácido fórmico e mais caro, portanto sua utilização deve ser avaliada com cautela.

A mistura do ácido fórmico e ácido propiónico, em altas concentrações resulta em efeito sinérgico entre estes dois ácidos e se mostra eficaz no controle dos microorganismos responsáveis pela deterioração aeróbia. Neste caso, resulta em declínio do pH e aumento do efeito antimicrobiano do ácido propiónico (WOOLFORD, 1984).

O ácido acético tem sido rejeitado como aditivo na silagem, pois, sob altas concentrações, está associado com desempenho animal insatisfatório, devido ao baixo consumo voluntário de matéria seca (MCDONALD, HENDERSON; HERON, 1991).

De acordo com Gutierrez, Amorim e Basso (1991), o tanino e outros fenóis, componentes naturais da própria planta, atuam de forma inibitória na atividade da invertase da levedura. Na verdade, os aditivos apresentam várias possibilidades de ação sobre as

leveduras, como por exemplo, diminuição da atividade de enzimas glicolíticas, redução do pH intracelular (ácido acético) até fatores de desidrogenase, desacopladores da cadeia respiratória, e redução do nível de ATP para as leveduras.

1.1.6.2 Efeitos da adição de álcalis

Em contrapartida à utilização de ácidos, empregando hidróxido de sódio como aditivo para silagem de cana-de-açúcar, Alcântara, Aguilera e Shimada (1989) observaram maior consumo da cana ensilada com NaOH, em comparação com a cana sem aditivo. Esse consumo superior da cana com aditivo é explicado pelo fato desta conter menor teor de álcool e maiores teores de ácido lático e açúcares solúveis do que a silagem sem aditivo.

De acordo com Preston (1977), a fermentação alcoólica na massa ensilada poderia ser controlada pela adição de um álcali. Na microflora encontrada na cana-de-açúcar, as leveduras são os microorganismos predominantes que, sob condições anaeróbias e baixo pH, metabolizam açúcares em álcool. Deste modo, a adição de produtos alcalinizantes propiciaria um pH inicial alto, favorecendo a multiplicação de bactérias, em detrimento as leveduras (RAVELO; MCLEOD; PRESTON, 1977).

Estudando o valor nutritivo e o padrão de fermentação ruminal de ovinos alimentados com silagem de cana-de-açúcar tratada com 4,0% de NaOH na matéria seca, Castrillón, Shimada e Calderón (1978) verificaram melhoria na composição bromatológica, redução acentuada na produção de etanol (de 5,2 para 0,9% da MS) e aumento no teor de ácido lático, em relação a silagem sem aditivos. Utilizando dosagens de 1, 2 e 3% de NaOH na massa verde, Pedroso et al. (2002) constataram redução no teor de etanol, de 3,06% da matéria seca na silagem controle para 2,0%, na média das silagens tratadas.

1.1.6.3 Efeitos de aditivos microbianos

Alguns autores utilizaram aditivos microbianos com o intuito de manter a estabilidade da massa ensilada, alterando o pH final da silagem para que a ocorrência de fermentações indesejáveis, como a produção de álcool pelas leveduras, pudesse ser minimizada.

1.1.6.3.1 Efeitos da adição de bactérias produtoras de ácido lático

A adição de bactérias produtoras de ácido-lático pode acelerar e melhorar o processo de ensilagem. Kaiser e Weiss (1997) e Shockey, Dehorit e Conrad (1985) afirmaram que as essas bactérias inibem o crescimento de *Clostridium*, aumentando assim as chances de se obter uma silagem de melhor qualidade.

Rodrigues e Magalhães (2004), ao inocularem silagem pré-secada de alfafa com inoculante comercial Silobac® (*L. plantarum*, *S. faecium* e *Lactobacillus* sp), observaram que não houve alterações nas concentrações de etanol, em relação ao grupo controle. Também, quando esses aditivos foram usados na silagem de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, Schum) as concentrações de etanol não foram aumentadas (RODRIGUES et al., 2003).

Rodrigues et al. (2002), adicionando aditivos comerciais Sil-All® (*Streptococcus faecium*, *Pediococcus acidilactici*, *Lactobacillus plantarum*, amilase, hemicelulase e celulase), Silobac® (*L. plantarum*, *S. faecium* e *Lactobacillus* sp), Pioneer 1174® (*S. faecium* e *L. plantarum*) em silagens de sorgo produzidas em silos experimentais, observaram que os três inoculantes aumentaram a concentração de etanol, porém não alteraram a concentração dos ácidos acético, propiônico ou butírico, bem como o pH ou a concentração de nitrogênio amoniacal das silagens.

Em estudo anterior, com a adição de inoculantes na silagem de girassol produzida em silos experimentais, a produção de etanol na silagem tratada com o inoculante Pioneer 1174® foi 117,3% maior do que na silagem controle (RODRIGUES et al., 2001).

É possível que o efeito observado por Rodrigues et al. (2002) seja uma indicação de que os inoculantes tenham causado rápida acidificação da silagem, já que a rápida acidificação poderia favorecer o desenvolvimento de leveduras não sensíveis ao baixo pH, levando a fermentação de açúcares residuais a etanol e, em consequência, diminuição da estabilidade aeróbia.

As bactérias ácido-láticas homofermentativas não são comprovadas como capazes de aumentar a estabilidade aeróbia da silagem e, quando em número predominante, freqüentemente resultam em silagem que se deteriora rapidamente quando exposta ao ar. Por exemplo, Cai et al. (1999) reportaram que a adição de *L. plantarum* em vários tipos de forragens melhorou a qualidade de fermentação, porém não inibiu o crescimento de leveduras nem reduziu a deterioração aeróbia da silagem.

Ao estudar silagens de cana-de-açúcar com aditivo bacteriano enzimático, Silva (2003) observou que, os teores médios de MS e o pH se mantiveram dentro da amplitude onde se pode considerar a silagem como de boa qualidade, porém as silagens apresentaram altos teores de etanol e de NIDA e baixos teores de proteína, não ficando evidenciado benefícios na adição do aditivo bacteriano-enzimático. A aplicação do inoculante teve efeito positivo sobre aumento dos ácidos totais. Os teores de ácido lático e de álcool não foram afetados pelo inoculante bacteriano-enzimático.

1.1.6.3.2 Efeitos da adição de bactérias produtoras de ácido acético

Aditivos contendo bactérias heteroláticas mostraram grande potencial como melhoradores da estabilidade aeróbia das silagens. Em experimento avaliando inoculantes contendo a bactéria heterofermentativa *Lactobacillus buchneri*, Ranjit e Kung Jr. (2000) observaram aumento na produção dos ácidos propiônico e acético, aumento significativo na estabilidade aeróbia, redução no teor de etanol e na população de leveduras das silagens de milho tratadas. Embora o *L. buchneri* seja uma bactéria ácido-lática, é do tipo heterofermentativa, capaz de converter glicose em ácido lático e em quantidades significativas de ácido acético, 1,2 propanodiol e pequenas quantidades de etanol, mesmo na ausência de oxigênio.

De acordo com Nussio e Schmidt (2004), a bactéria *L. buchneri* seria potencialmente recomendada como aditivo para a silagem de cana-de-açúcar, devido a sua produção de ácido acético, capaz de diminuir o pH intracelular da levedura, podendo ser considerada como um fungicida. Por outro lado, Freitas et al. (2006) não recomendam a utilização de *L. buchneri* na silagem da cana-de-açúcar, pois nenhuma melhoria foi observada pelos autores, na composição química ou no perfil de fermentação das silagens, utilizando este tipo de aditivo.

O uso de inoculantes microbianos na ensilagem tem proporcionado resultados conflitantes. Dependendo do tipo de inoculante usado, quantidade aplicada, atividade biológica, tipo de forragem, conteúdo de matéria seca e composição química da forragem, os efeitos do uso de aditivos sobre a fermentação, a composição da silagem e o desempenho animal são diferentes (RODRIGUES et al., 2001).

1.1.6.4 Efeitos da adição de leveduras

Jonsson e Pahlow (1984) relataram que a adição de leveduras (*Sacharomyces*) na silagem diminuiu a contagem de *Clostridium* e reduziu as perdas de matéria seca. Inoculando várias espécies de leveduras juntamente com *Lactobacillus casei* em silagem pré-tratadas com açúcar, observaram que as leveduras estimularam as bactérias ácido-láticas e melhoraram o aroma do produto final.

O uso de leveduras como aditivos na silagem é duvidoso. Embora demonstrado que elas produzam ácido lático e etanol na silagem, a fermentação alcoólica contribui para a perda de matéria seca. Além disso, a função das leveduras no processo de deterioração aeróbia contradiz seu potencial como inoculante ou aditivo na silagem (WOOLFORD, 1984).

1.2 CONSEQÜÊNCIAS DA FERMENTAÇÃO ALCOÓLICA DE SILAGENS

As conseqüências da fermentação alcoólica de silagens freqüentemente estão relacionadas às perdas no valor nutritivo, perdas de matéria seca e baixa estabilidade aeróbia, e em relação aos efeitos sobre a fermentação ruminal, as conseqüências incidem principalmente sobre a redução na digestibilidade da silagem.

1.2.1 Conseqüências da fermentação sobre a qualidade da silagem

McDonald, Henderson e Heron (1991) relataram que, em silagens ricas em carboidratos, como as de milho e cana-de-açúcar, quando houver grandes quantidades de leveduras, a produção de etanol pode resultar em alta perda de matéria seca.

Elevadas contagens de leveduras e fungos, além de causarem a deterioração aeróbia e perdas no valor nutritivo da silagem, promovem a elevação do pH, aumentando o risco de desenvolvimento de microrganismos patogênicos, como a *Listeria monocytogenes* (RAYMOND; WALTHAM, 1996), que não tem efeito na fermentação, porém implica em riscos à saúde dos animais que consumirão a silagem (WOOLFORD, 1984).

Uma vez que as leveduras possuem função reconhecida no processo de perdas potenciais na silagem, devido à deterioração aeróbia, esses organismos têm assumido importante função nos programas de pesquisas com silagens (MCDONALD; HENDERSON; HERON, 1991).

1.2.2 Conseqüências sobre o rúmen

A literatura é escassa quanto aos efeitos da fermentação alcoólica da silagem sobre a fermentação ruminal. Em relação à silagem que sofreu fermentação alcoólica e seus efeitos para o animal, McDonald, Henderson e Heron (1991) reportaram apenas que o valor nutritivo da mesma é reduzido.

Segundo Chamberlain (1987), esse tipo de silagem possui menor digestibilidade, o que corrobora com Pupo (1979), o qual afirmou que a silagem que sofreu fermentação alcoólica não é recomendada, devido à baixa digestibilidade que apresenta.

Na avaliação do desempenho de bovinos alimentados com silagens de cana-de-açúcar tratadas com soluções de amônia aquosa, uréia e melação, Silvestre, McLeod e Preston (1976) verificaram que o consumo de silagens tratadas com uréia foi 39% superior ao da silagem sem aditivo e semelhante ao da cana fresca. Perceberam também tendência de aumento no ganho de peso (16%) e melhora na conversão alimentar do tratamento contendo silagem de cana tratada com 2% de solução de melação e amônia.

Freitas et al. (2001) concluiu que, quando há predominância de fermentação alcoólica na silagem de cana-de-açúcar, decorrente da proliferação de leveduras com produção de etanol e gás carbônico, ocorre menor ingestão pelos animais, provavelmente devido ao pronunciado odor de álcool presente e pelo alto teor de FDN dessa forrageira.

Embora o etanol possa ser possivelmente aproveitável como substrato energético para bovinos, através da conversão de acetato no rúmen (CHALUPA; EVANS; STILLIONS, 1964), a maior parte do etanol produzido nas silagens se perde durante a estocagem nos silos (ALLI; BAKER; GARCIA, 1982). A produção de etanol resulta em grande perda de MS, antes que esta seja fornecida aos animais e, embora tenham sido relatadas mudanças benéficas no padrão de fermentação ruminal, o valor nutritivo do etanol não está bem estabelecido para os ruminantes. Chalupa, Evans e Stillions (1964) testando a dose de 9,7 mL de etanol/kg de MS conseguiram elevação de 6,6% na digestibilidade *in vitro* da celulose, tendo considerado que isto foi devido ao aumento da energia prontamente disponível aos microorganismos, com conseqüente aumento na concentração de ácido acético no rúmen de vacas fistuladas.

Devido ao seu grande efeito desinfetante, é possível que o álcool presente nas silagens que sofreram esse tipo de fermentação, resulte em prejuízo para o desenvolvimento da microbiota ruminal, com conseqüente diminuição da digestibilidade dos alimentos, notadamente da fibra, da produção de proteína microbiana e outros fatores nutricionais.

REFERÊNCIAS

ALCÁNTARA, E.; AGUILERA, A. R.; SHIMADA, A. Fermentation and utilization by lambs of sugarcane harvested fresh and ensiled with and without NaOH. **Animal Feed and Technology**, v. 23, n. 4, p. 323-331, 1989.

ALLI, I.; BAKER, B. E.; GARCIA, G. Studies of the fermentation of chopped sugarcane. **Animal Feed Science and Technology**, v. 7, n. 4, p. 411-417, 1982.

ALVAREZ, F. J.; PRESTON, T. R. Ammonia molasses and urea molasses as additives for ensiled sugarcane. **Tropical Animal Production**, v. 1, n. 2, p. 98-104, 1976.

ALVAREZ, F. J.; PRIEGO, A.; PRESTON, T. R. Animal performance on ensiled sugarcane. **Tropical Animal Production**, v. 2, n. 1, p. 27-33, 1977.

ANDRIGUETTO, J. M. **Nutrição animal**: As bases e os fundamentos da nutrição animal. São Paulo: Nobel, 1988, v. 1, 395 p.

BANYS, V. L.; TIESENHAUSEN, I. M. E. V.; PAIVA, P. C. A. REZENDE, C. A. P.; OLIVEIRA, A. I. G.; BARBOSA, C. M. P.; ALVARENGA, L. C. Silagem consorciada de milho com girassol: Composição química e degradabilidade. **Ciências agrotécnicas**, v. 23, n. 3, p. 733-738, 1999.

BRITT, D. G.; HUBER, J. T.; ROGERS, A. L. Fungal growth and acid production during fermentation and re-fermentation of organic acid treated corn silages. **Journal of Dairy Sciences**, v. 58, n. 1, p. 532-539, 1975.

CAI, Y.; BENNO, Y.; OGAWA, M.; KUMAI, S. Effect of applying lactic acid bacteria isolated from forage crops on fermentation characteristics and aerobic deterioration of silage. **Journal of Dairy Science**, v. 82, n. 3, p. 520-526, 1999.

CASTRILLÓN, M. V.; SHIMADA, A. S.; CALDERÓN, F. M. Manipulación de la fermentación en ensilajes de caña de azúcar y su valor alimenticio para borregos. **Técnica Pecuaria en México**, v. 35, n. 2, p. 48-55, 1978.

CHALUPA, W.; EVANS, J. L.; STILLIONS, M. C. Influence of ethanol on rumen fermentation and nitrogen metabolism. **Journal of Animal Science**, v. 23, n. 1, p. 802-807, 1964.

CHAMBERLAIN, D. G. The silage fermentation in relation to the utilization of nutrients in the rumen. **Process Biochemistry**, v. 4, n. 1, p. 60-63, 1987.

CONSENTINO, J. R. Fermentações da silagem. **Zootecnia**, v. 16, n. 1, p. 57- 61, 1978.

CORREIA, A. D. D. **Bioquímica nos solos, nas pastagens e forragens**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1980. 789 p.

DAWSON, L. E. R.; KIRKLAND, R. M.; FERRIS, C. P.; STEEN, R. W. J.; KILPATRICK, D. J.; GORDON, F. J. The effect of stage perennial ryegrass maturity at harvesting, fermentation characteristics and concentrate supplementation, on the quality and intake of grass silage by beef cattle. **Grass and Forage Science**, v. 57, n. 3, p. 255-267, 2002.

FREITAS, A.W.P.; PEREIRA, J.C.; ROCHA, F.C.; DETMAN, E.; RIBEIRO, M.D.; COSTA, M.G.; LEONEL, F.P. Características da silagem de cana-de-açúcar tratada com inoculante bacteriano e hidróxido de sódio e acrescida de resíduo da colheita de soja. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, n.1, p.48-59, 2006.

FREITAS, D.; BERCHIELLI, T. T.; SILVEIRA, R. N.; SOARES, J. P. G.; PIRES, A. V.; ANDRADE, P. Consumo e digestibilidade aparente total e parcial de rações com cana-de-açúcar, casca e raspa de mandioca ensiladas com polpa cítrica. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 31, n. 3, p. 189-195, 2001. (Suplemento).

GALLO, C. R.; CANHOS, V. P. Contaminantes bacterianos na fermentação alcoólica – revisão. **Stab**, v. 4, n. 4, p. 35-40, 1991.

GONZÁLEZ, E.; MCLEOD, N. A. Spontaneous fermentation of sugarcane. **Tropical Animal Production**, v. 1, n. 2, p. 80-84, 1976.

GUTIERREZ, L. E.; AMORIM, H. V.; BASSO, L. C. Inibidores da fermentação alcoólica. **Stab**, v. 10, n. 6, p. 24-30, 1991.

HARGREAVES, A. B.; BUTENDIECK, N. B.; HIRIAT, M. L. Comparación de los silos experimentales para la investigación de ensilages. **Agricultura Técnica**, v. 46, n. 2, p. 185-191, 1986.

HARRISON, J. H.; BLAUWIEKEL, R.; STOKES, M. R. Fermentation and utilization of grass silage. **Journal of Dairy Science**, v. 77, n. 10, p. 3209-3235, 1994.

JONSSON, A.; PAHLOW, G. Systematic classification and biochemical characterization of yeasts growing in grass silage inoculated with *Lactobacillus* cultures. **Animal Research Development**, v. 20, n. 1, p. 7-22, 1984.

KAISER, E.; WEISS, K. Fermentation process after supplementation of nitrate, nitrite, lactic acid bacteria and formic acid. **Archives of Animal Nutrition**, v. 50, n. 2, p. 187-200, 1997.

MCDONALD, P.; HENDERSON, A. R.; HERON, S. **The Biochemistry of Silage**. 2. ed. Marlow, UK: Chalcombe Publications, 1991. 340 p.

NUSSIO, L. G.; SCHMIDT, P. **Tecnologia de produção e valor alimentício de silagem de cana-de-açúcar**. Reunião técnica sobre produção de silagem de cana-de-açúcar. Piracicaba – SP. Novembro de 2004.

PEDROSO, A. F.; NUSSIO, L. G.; PAZIANI, S. F.; LOURES, D. R. S.; IGARASI, M. S.; MARI, L. J.; COELHO, R. M. Bacterial inoculants and chemical additives to improve fermentation in sugarcane (*Saccharum officinarum*) silage, In: INTERNATIONAL SILAGE CONFERENCE, 13., 2002. Auchincruive, Scotland. **Proceedings...** Auchincruive, 2002. p.66-67.

PRESTON, T. R.; HINOJOSA, C.; MARTINEZ, L. Ensiling of sugarcane with ammonia molasses and mineral acids. **Tropical Animal Production**, v. 1, n. 1, p. 120-126, 1976.

PRESTON, T. R. Nutritive value of sugar cane for ruminants. **Tropical Animal Production**, v. 2, n. 2, p. 125-142, 1977.

PUPO, N. I. H. **Manual de Pastagens e Forrageiras**. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1979. 343 p.

RANDBY, A. T.; SELMER-OLSEN, I.; BAEVRE, L. Effect of ethanol in feed on milk flavor and chemical composition. **Journal of Dairy Science**, n. 82, n. 2, p. 420-428, 1999.

RANJIT, N. K.; TAYLOR, C. C., KUNG JR., L. Effect of *Lactobacillus buchneri* 40788 on the fermentation, aerobic stability and nutritive value of maize silage. **Grass and Forage Science**, v. 57, n. 2, p. 73-81, 2002.

RANJIT, N. K.; KUNG, JR., L. The Effect of *Lactobacillus buchneri*, *Lactobacillus plantarum*, or a chemical preservative on the fermentation and aerobic stability of corn silage. **Journal of Dairy Science**, v. 83, n. 3, p. 526-535, 2000.

RAVELO, G.; McLEOD, N. A.; PRESTON, T. R. Sugarcane ensiled with urea or ammonia for fattening cattle. **Tropical Animal Production**, v. 2, n. 3, p. 34-39, 1977.

RAYMOND, F.; WALTHAM, R. **Forage conservation and feeding**. 5. ed. United Kingdom: Ed. Farming Press Books, 1996. 238 p.

RODRIGUES, P. H. M.; ALMEIDA, T. F.; MELOTTI, L.; ANDRADE, S. J. T.; PEIXOTO JR., K. C. Efeitos da adição de inoculantes microbianos sobre a composição bromatológica e

sobre a fermentação da silagem de girassol produzida em silos experimentais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 30, n. 6, p. 2169-2175, 2001. (Suplemento)

RODRIGUES, P. H. M.; SENATORE, A. L.; ANDRADE, S. J. T.; RUZANTE, J. M.; LUCCI, C. S.; LIMA, F. R. Efeitos da adição de inoculantes microbianos sobre a composição bromatológica e perfil fermentativo da silagem de sorgo produzida em silos experimentais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 31, n. 6, p. 2373-2379, 2002.

RODRIGUES, P. H. M.; LOPÉS, T. F. T.; ANDRADE, S. J. T.; MELOTTI, L.; LUCCI, C. S. LIMA, F. R.; MEYER, P. M. Adição de Inoculantes microbianos sobre a composição química e perfil fermentativo da silagem de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, Schum). **Acta Scientiarum**, v. 25, n. 2, p. 397-402, 2003.

RODRIGUES, P. H. M.; MAGALHÃES, V. J. A. Avaliação de inoculante microbiano na composição bromatológica, fermentação e estabilidade aeróbia da silagem pré-seca de alfafa. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 33, n. 1, p. 51-59, 2004.

SCHMIDT, J.; SIPOCZ, J.; KASZAS, I.; SZAKACS, G.; GYEPES, A.; TENGHERDY, P. Preservation of sugar content in ensiled sweet sorghum. **Bioresource Technology**, v. 60, n. 1, p. 9-13, 1997.

SHOCKEY, W. L.; DEHORIT, B. A.; CONRAD, H. R. Effects of microbial inoculant on fermentation of alfafa and corn. **Journal of Dairy Science**, v. 68, n. 11, p. 3076-3080, 1985.

SILVA, S. A. R. **Avaliação da eficiência fermentativa da cana-de-açúcar ensilada com diferentes aditivos**. 2003. 44 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Veterinária, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2003.

SILVESTRE, R.; MCLEOD, N. A.; PRESTON, T. R. The performance of steers fed fresh chopped whole sugarcane or after ensiling with urea or ammonia. **Tropical Animal Production**, v. 1, n. 3, p. 216-222, 1976.

WATSON, S. J.; NASH, M. J. **The conservation of grass and forage crops**. Edinburgh: Oliver and Boyd . LTD, 1960. 758 p.

WEINBERG, Z. G.; PAHLOW, G.; DINTER, B.; ASHBELL, G. The effect of treatment with urea, sorbic acid, or dehydration on orange peel silage. **Animal Feed Science and Technology**, v. 20, n. 4, p. 335-342, 1988.

WOOLFORD, M. K. **The silage fermentation**. New York: Marcel Dekker, 1984. 350 p.

CAPÍTULO III

EFEITOS DA AERAÇÃO SOBRE AS CARACTERÍSTICAS DA SILAGEM DE CANA-DE-AÇÚCAR

RESUMO – A cana-de-açúcar, ao contrário de outras gramíneas tropicais, caracteriza-se pela grande quantidade de carboidratos solúveis, o que favorece a ação de leveduras que produzem etanol a partir do consumo desses carboidratos. No presente estudo objetivou-se avaliar os efeitos deletérios do tempo de aeração sobre as características nutricionais e fermentativas da silagem de cana-de-açúcar, bem como procurar compreender melhor a dinâmica de fermentação das silagens. Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado com três tratamentos e quatro repetições por tratamento. A cana-de-açúcar recém picada foi exposta à aeração por 0, 4 ou 8 horas, sendo ensilada somente após cada tempo de espera. O processo de aeração foi realizado pela exposição do material picado ao ambiente. Após a exposição, o material foi ensilado em 12 silos experimentais confeccionados a partir de baldes plásticos com 6 litros de capacidade. A abertura dos silos ocorreu 85 dias após a ensilagem, quando foram determinados os teores dos ácidos orgânicos e a composição químico-bromatológica das silagens. Foi observado desvio da linearidade ($P < 0,05$) do tempo de aeração sobre os teores de matéria seca, o mesmo ocorrendo para o amido. Observou-se efeito linear crescente ($P < 0,05$) sobre os teores de FDA, FDN e carboidratos solúveis, mas decrescente para a digestibilidade *in vitro* da matéria seca, bem como para os teores de nitrogênio amoniacal. Também houve tendência ($P < 0,10$) de aumento linear das perdas de matéria seca. Para os teores de ácidos orgânicos, observou-se desvio da linearidade sobre o ácido acético, com o menor teor 1,5% da MS observado com 8 horas de aeração, e comportamento linear ($P < 0,05$) decrescente para o ácido láctico e butírico, bem como para os valores de pH. Não foram observados efeitos sobre os valores de etanol, que se apresentou bastante alto (22% da MS) independentemente do tempo de aeração. A estabilidade aeróbia da silagem piorou com o aumento do tempo de aeração.

Palavras-chave: Ensilagem. Fermentação. Forrageira. Oxigenação. Valor nutritivo.

EFFECTS OF AERATION ON CHARACTERISTICS OF SUGARCANE SILAGE

ABSTRACT – Differently from other tropical grasses, sugarcane is characterized by high amounts of water-soluble carbohydrates, which favors action of ethanol-producer yeast, by consuming those carbohydrates. This trial aimed at evaluating the deleterious effects of aeration time on nutritive value and other fermentative characteristics of sugarcane silage, as well as to better understand the dynamics of silage fermentation. A completely randomized design was used with three treatments and four repetitions per treatment. Fresh chopped sugarcane was exposed to aeration for 0, 4 or 8 hours, and ensiled soon after. The aeration process was done by exposing the chopped sugarcane to environment. After exposure, the material was ensiled in 12 laboratory silos (6 liter-capacity plastic buckets). Silos were opened 85 days after ensiling, when organic acids contents and chemical composition of silages were determined. Deviation of linearity ($P < 0.05$) was observed for aeration time on dry matter and starch content. Positive linear effect was observed ($P < 0.05$) on ADF, NDF and soluble carbohydrates content, but negative for ammoniacal nitrogen content and in vitro digestibility of dry matter. There was also a tendency ($P < 0.10$) for linear increase of dry matter (DM) losses. For organic acids content, deviation of linearity was observed on acetic acid, with the lowest content (1.5% of DM) observed after 8 hours of aeration, and negative linear effect was observed for lactic and butyric acids, as well as for pH values. There were no effects on ethanol concentration, which remained very high (22% of DM), independent on the aeration time. Aerobic stability of silage worsened with the increase of aeration time.

Key words: Ensiling. Fermentation. Forage. Nutritive value. Oxygenation.

1 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar possui grande potencial como recurso forrageiro nas épocas de seca, devido à grande quantidade de matéria seca e energia, produzidas por área (LIMA; MATTOS, 1993). Muitos pecuaristas utilizam a cana fresca, através do sistema de corte diário, porém a operacionalidade desse recurso é muito dispendiosa em termos de mão de obra, além de dificultar o manejo do canavial. A alternativa encontrada é a ensilagem, que contribui na eficiência de manejo e evita perdas que, por ventura, poderiam ocorrer devido às queimadas e geadas.

Apesar de se apresentar como excelente alternativa na diminuição do trabalho operacional, a ensilagem de cana-de-açúcar produz fermentação alcoólica, o que provoca amplas perdas de matéria seca e de valor nutritivo desta forrageira (ALLI; BAKER; GARCIA, 1982). A fermentação alcoólica é favorecida pela grande quantidade de carboidratos solúveis presentes na cana-de-açúcar, que servem como substrato para as leveduras, que convertem esses açúcares em etanol. Recentemente, alguns pesquisadores têm estudado esse tipo de fermentação, na busca de opções para a produção de silagem de cana-de-açúcar de boa qualidade nutricional.

Preston, Hinojosa e Martinez (1976) constataram redução em torno de 30% do conteúdo total de açúcares da cana ensilada com amônia em relação à cana fresca, bem como teor alcoólico de 5,5% da MS da silagem. Utilizando silos laboratoriais, Alli, Baker e Garcia (1982) observaram redução de 90% no teor de carboidratos solúveis em relação à cana fresca, teor de álcool de 8,86% na MS da silagem e aumento no teor de fibra, que pode significar perda de qualidade.

No Brasil, apesar da pouca informação, a ensilagem de cana-de-açúcar têm sido difundida entre os produtores, porém sem considerar os problemas presentes. Por isso as pesquisas na área são de grande valia, na tentativa de alcançar resultados satisfatórios em termos de produção de silagem de qualidade.

Pedroso (2003), caracterizando a dinâmica da fermentação, das perdas de MS e o desenvolvimento da microbiota epífita da silagem, observou aumento na população de leveduras na ordem de 5,1 log ufc/g de massa verde, teor de etanol de 6,4%, sendo o nível

máximo de etanol alcançado após 15 dias de ensilagem, quando houve desaparecimento de 68% dos carboidratos solúveis. De acordo com o autor, o alto teor de etanol, juntamente com o rápido desaparecimento dos carboidratos solúveis, acarretaram baixa digestibilidade *in vitro* e *in vivo* da matéria seca.

No presente estudo objetivou-se avaliar o efeito da presença de oxigênio sobre a composição química, qualidade fermentativa, perdas de matéria seca e estabilidade aeróbia da silagem de cana-de-açúcar, sob a hipótese que a presença de oxigênio nas fases iniciais do processo de ensilagem, obtida pelo atraso na vedação do silo, estimularia à multiplicação de leveduras, resultando em maior produção de etanol.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido nas dependências do Departamento de Nutrição e Produção Animal da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo (Campus de Pirassununga).

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) foi picada (Picadora – marca Nogueira, modelo EM-9F3B) em fragmentos médios de 1,57 cm de tamanho. A avaliação do tamanho médio de partículas foi realizada de acordo com a metodologia das peneiras do “PennState Particle Size Separator” proposta por Lammers, Buckmasster e Heinrichs (1996).

A picagem da planta forrageira foi realizada em 3 etapas: às 8:00h, às 12:00h e às 16:00h. A ensilagem foi realizada às 16:00h, portanto a cana picada às 8:00h sofreu 8h de aeração, aquela picada às 12:00h sofreu 4h de aeração e aquela picada às 16:00h, 0h de aeração. Foram utilizados 12 baldes plásticos (silos) com 252 mm de altura e 245 mm de diâmetro (6 litros de capacidade).

Foi utilizado delineamento inteiramente casualizado com 3 tratamentos e quatro repetições por tratamento. Os 3 tratamentos foram correspondentes aos tempos de exposição ao ar (0, 4 e 8h). As respectivas massas foram colocadas dentro de cada silo e compactadas, sendo os silos fechados com tampas e, então, pesados. A compactação correspondeu à densidade de 500 kg de silagem/m³. Os silos foram abertos após 85 dias.

Antes da abertura, os silos foram pesados para posterior determinação das perdas de matéria seca (MS). Os cálculos das perdas por fermentação foram realizados pela diferença entre os pesos das massas obtidos no enchimento e abertura dos silos, multiplicados pelos respectivos teores de matéria seca. Finalmente, as perdas foram transformadas em porcentagem da massa inicial. Uma vez abertos, as massas retiradas de cada silo foram homogêneas, sendo uma parcela separada para determinação de MS a 65°C e 105°C, em estufa com circulação forçada de ar, proteína bruta (PB), segundo AOAC (1980), componentes da parede celular (FDN, FDA e Lignina) segundo Van Soest, Robertson e Lewis (1991).

Os carboidratos solúveis (CHOs) foram determinados de acordo com a metodologia descrita por Johnson et al. (1966), o amido segundo Pereira e Rossi (1995), modificando esta técnica para prévia extração dos carboidratos solúveis segundo Hendrix (1993), e o nitrogênio insolúvel em detergente ácido (NIDA) segundo Van Soest e Robertson (1985). Outra fração

foi congelada imediatamente para futura contra-prova e a terceira fração foi colocada em prensa manual para a extração do suco.

Imediatamente após a prensagem do material, 50 mL de suco de silagem foram utilizados para a determinação do pH em potenciômetro digital de mesa (marca Procyon, modelo 310), calibrados com soluções tampão de pH 4,0 e 7,0. A determinação dos ácidos orgânicos e do etanol contidos no suco da silagem foi realizada por meio de cromatografia gasosa, segundo método preconizado por Erwin, Marco e Emery (1961). Para tal, foi utilizado cromatógrafo a gás (marca Finnigan, modelo 9001) equipado com coluna de vidro de sílica MEGABOR (marca OHIO VALLEY, modelo OV-351) de 30 m X 0,53 mm e fase estacionária de 1,0 micron.

As determinações foram realizadas injetando-se 1,0 microlitro de amostra ao cromatógrafo. Este era integrado ao computador que processava os cálculos de quantificação por meio do programa computacional Borwin (versão 1.21) para cromatografia, utilizando-se a solução padrão como base para o cálculo das concentrações de ácidos orgânicos da amostra. O número de repetições por amostra foi aquele necessário para que a diferença entre leituras fosse inferior a 5%. A solução padrão foi injetada a cada 10 injeções sucessivas de amostras, tentando-se evitar, dessa maneira, possíveis distorções das leituras em função da contaminação da coluna. Os cálculos das concentrações dos ácidos orgânicos foram realizados em microcomputador, comparando-se as amostras à solução padrão.

Ainda durante a amostragem, alíquotas de 2 mL de suco de silagem foram colocadas em tubos de ensaio contendo 1 mL de solução de ácido sulfúrico 1 N e armazenadas sob refrigeração até a determinação do nitrogênio amoniacal (N-NH₃), que foi realizada por colorimetria, segundo método proposto por Kulasek (1972) e adaptado por Foldager (1977). As leituras em absorvância foram realizadas em espectrofotômetro (marca Beijing Rayleigh AIC modelo VIS-7220) regulado em 630 nm. Os valores de absorvância foram utilizados para calcular as concentrações de nitrogênio amoniacal em mg de N-NH₃/100 mL, pela equação de regressão linear obtida a partir da calibração do aparelho com soluções padrão de diferentes concentrações.

A DIVMS foi determinada segundo Tilley e Terry (1963) por meio da pesagem de 0,5 g de amostra pré-seca, em tubos de centrífuga, previamente secos e calibrados. Aos tubos foram adicionados 40 mL de solução de McDougall (saliva artificial) e 10 mL de inóculo de rúmen de animais alimentados com pastagem de capim-braquiária (*Brachiaria decumbens*), além de sal mineralizado no cocho. O gás carbônico foi colocado em cada tubo, fechando-se

imediatamente com rolhas de borracha contendo válvula de “bunsen”. Incubou-se por 48 horas em estufa de temperatura controlada, agitando-se, pelo menos, 3 a 4 vezes durante a fermentação. A segunda fase ocorreu após a centrifugação e descarte do sobrenadante. Foram adicionados 50 mL de solução de pepsina (1:10.000) a 0,2% em cada tubo, agitando-se e os colocando em estufa a 39°C por mais 48 horas. Após a lavagem, secagem e pesagem dos tubos, foram realizados os cálculos segundo a fórmula abaixo:

$$\text{DIVMS} = \frac{100 \times \text{g de MS na amostra} - (\text{g de MS residual} - \text{g de MS do branco})}{\text{g de MS da amostra}}$$

Para a determinação da estabilidade aeróbia da silagem, aproximadamente 2,0 kg de massa úmida foram retirados de cada balde, transferidos para caixa de isopor com capacidade de 12 litros e armazenados em local coberto com temperatura controlada (25°C). As temperaturas das silagens foram obtidas a cada hora, durante 14 dias, por meio de Sistema de Monitoração e Aquisição de Dados (SIMAD), composto por 12 sensores de temperatura, 2 módulos de aquisição de dados, 1 conversor de rede e 1 software para Monitoramento, Aquisição e Controle de Variáveis Ambientais (MACVA), versão 1.2 de fabricação da AUTSENS - Indústria e Comércio de Equipamentos Eletrônicos. Adicionalmente, foram avaliadas as temperaturas máximas alcançadas (°C), o tempo necessário para alcançá-las e o tempo para elevação dessas temperaturas em 2°C, os dois últimos em horas. A estabilidade aeróbia foi calculada como taxa de elevação de temperatura, usando o máximo da temperatura observada dividida pelo tempo necessário para alcançar a máxima temperatura (RUPPEL et al., 1995).

Os resultados foram analisados usando-se o programa computacional Statistical Analysis System (SAS Institute Inc., 1998), sendo anteriormente verificada a normalidade dos resíduos pelo Teste de Shapiro-Wilk (PROC UNIVARIATE). Os dados (variável dependente) que não atenderam a esta premissa foram submetidos à transformação logarítmica [$\text{Log}(X+1)$] ou pela raiz quadrada [$\text{RQ}(X+1/2)$]. Os dados originais ou transformados, quando este último procedimento foi necessário, foram submetidos à análise de regressão polinomial, pelo procedimento GLM, decompondo-se os efeitos em linear e desvio da linearidade.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A composição química, a DIVMS e o poder tampão, da cana-de-açúcar utilizada encontram-se na tabela 1, sendo que a cana exposta à 0h de aeração pode ser considerada como cana *in natura*, para efeito de comparações. Os teores das frações MS e carboidratos solúveis foram compatíveis aos citados por Pedroso (2003), entre 28,0 a 35% de MS e no mínimo 15% de carboidratos solúveis na MS. Porém estão acima dos encontrados por Coan et al. (2005) de 27% de MS e 17% de CHOs na MS.

Tabela 1 – Composição bromatológica da cana-de-açúcar fresca
 Table 1 - Chemical composition of fresh sugarcane

	Cana-de-açúcar <i>Sugarcane</i>		
	0h	4h	8h
MS	32,59	34,31	35,15
<i>DM</i>			
PB	2,77	2,62	2,73
<i>CP</i>			
NIDA	33,13	28,36	33,51
<i>ADIN</i>			
FDA	34,55	34,99	36,02
<i>ADF</i>			
FDN	55,37	56,72	58,43
<i>NDF</i>			
Lignina	5,54	5,70	6,28
<i>Lignin</i>			
Amido	0,22	0,33	0,27
<i>Starch</i>			
CHOs	39,43	37,53	35,50
<i>WSC</i>			
DIVMS	56,71	55,73	53,77
<i>IVDDM</i>			
PT	7,90	7,97	8,11
<i>BC</i>			

MS: matéria seca total (%); PB: proteína bruta (% MS); NIDA: nitrogênio insolúvel em detergente ácido (% do N total); FDA: fibra em detergente ácido (% MS); FDN: fibra em detergente neutro (% MS); Lignina (% MS); Amido (% MS); CHOs: carboidratos solúveis (% MS); DIVMS: digestibilidade *in vitro* da matéria seca (% MS) e PT: poder tampão (meq./100 g MS de forragem).

DM: dry matter (%); *CP*: crude protein (DM %); *ADIN*: acid detergent insoluble nitrogen (% of total N); *ADF*: acid detergent fiber (DM %); *NDF*: neutral detergent fiber (DM %); *Lignin* (DM %); *Starch* (DM %); *WSC*: water-soluble carbohydrate (DM %); *IVDDM*: *in vitro* digestibility of dry matter (DM %); *BC*: buffering capacity (meq./100 g of DM).

Os dados de composição bromatológica e digestibilidade *in vitro* da matéria seca das silagens submetidas aos tratamentos encontram-se na tabela 2. Houve desvio da linearidade ($P < 0,05$) para os teores de MS, sendo que ao aumentar o tempo de aeração, o teor de MS aumentou. Estes resultados estão dentro dos esperados, uma vez que, com o maior tempo de aeração pode-se presumir que a planta perdeu água pela exposição ao ar. Coan et al. (2002), ao avaliarem a composição da cana-de-açúcar ensilada aos 12 meses de rebrota em microsilos de PVC, observaram redução nos teores de MS da cana ensilada (20,9%) em relação à cana fresca (27,3%), sendo que o mesmo pôde ser observado no presente estudo. Este fato possivelmente está relacionado à diminuição do conteúdo celular, principalmente de carboidratos solúveis, durante o processo fermentativo (WOOLFORD, 1984), perda de MS por meio de efluentes (MCDONALD; HENDERSON; HERON, 1991) e gases (PEDROSO, 2003; SANTOS, 2004).

A DIVMS sofreu redução de 3,5, 5,7 e 12,9% em relação à cana fresca, nos respectivos tempos 0, 4 e 8 horas, o que pode ser explicado pela expressiva produção de etanol, caracterizada por perda elevada de CHOs solúveis e aumento no teor de fibra. O padrão de redução refletiu o aumento das concentrações de FDA e FDN na MS da silagem, sendo o mesmo padrão observado por Pedroso (2003), que ao avaliar a dinâmica da fermentação em silagens de cana-de-açúcar, constatou diminuição da DIVMS em 25% até 45 dias de ensilagem, em relação à cana fresca, e aumento nas concentrações de FDN em 42,5% e FDA em 38,5% em relação à cana fresca. Através da maior exposição ao ar, observou-se efeito linear decrescente ($P < 0,05$) para a DIVMS e crescente para as variáveis FDA e FDN, talvez não pela exposição propriamente dita, mas pela alta quantidade de etanol produzida. Coan et al. (2005), estudando a composição química da cana-de-açúcar ensilada em microsilos de PVC, relataram aumento nos constituintes da parede celular, com maiores concentrações de FDN na cana ensilada em relação à fresca (42,1 vs 54,9%), de FDA (34,9 vs 43,8%) e de lignina (6,8 vs 7,2%).

Desvio da linearidade ($P < 0,05$) foi observado para a variável amido, resultando em aumento do teor de amido com 8 horas de exposição, entretanto o amido não é importante neste caso, já que está presente em pouca quantidade na cana-de-açúcar. Nenhum efeito foi observado sobre a proteína bruta, NIDA, lignina e poder tampão.

Tabela 2 – Composição bromatológica das silagens

Table 2 – Chemical composition of silages

Variável <i>Variable</i>	Tratamento <i>Treatment</i>			Média <i>Mean</i>	CV <i>CV</i>	Probabilidade <i>Probability</i>		Equação <i>Equation</i>	R ²
	0h	4h	8h			Linear <i>Linear</i>	Desvio <i>Deviation</i>		
MS	23,60	23,70	24,64	24,65	3,55	0,0050	0,0001	$Y = 25,605 - 0,831x + 0,089x^2$	0,8569
DM									
PB	3,49	3,39	3,46	3,44	7,03	0,8552	0,6112	--	--
CP									
NIDA	29,37	29,23	28,43	29,01	8,40	0,6268	0,8435	--	--
ADIN									
FDA	48,12	50,44	50,61	49,73	3,41	0,0282	0,2245	$Y = 48,486 + 0,310x$	0,4862
ADF									
FDN	74,11	77,44	78,70	76,75	3,34	0,0045	0,3531	$Y = 74,455 + 0,574x$	0,6259
NDF									
Lignina	9,06	9,18	9,63	9,29	6,17	0,1872	0,6485	--	--
Lignin									
Amido	0,43	0,41	0,91	0,58	48,26	0,0029	0,0308	$Y = 0,435 - 0,070x + 0,016x^2$	0,7180
Starch									
CHOs	2,88	3,03	4,59	3,50	36,06	0,0498	0,3103	$Y = 2,642 + 0,214x$	0,4112
WSC									
DIVMS	54,75	52,59	46,86	51,40	9,99	0,0259	0,5032	$Y = 55,350 - 0,985x$	0,4576
IVDDM									
PT	21,39	22,36	18,06	20,60	15,58	0,1316	0,1634	--	--
BC									

MS: matéria seca total (%); PB: proteína bruta (% MS); NIDA: nitrogênio insolúvel em detergente ácido (% do N total); FDA: fibra em detergente ácido (% MS); FDN: fibra em detergente neutro (% MS); Lignina (% MS); Amido (% MS); CHOs: carboidratos solúveis (% MS); DIVMS: digestibilidade *in vitro* da matéria seca (% MS) e PT: poder tampão (meq./100 g MS de forragem); CV: coeficiente de variação (%); Linear: probabilidade para efeito linear; Desvio: probabilidade para efeito do desvio da linearidade.

DM: dry matter (%); CP: crude protein (DM %); ADIN: acid detergent insoluble nitrogen (% of total N); ADF: acid detergent fiber (DM %); NDF: neutral detergent fiber (DM %); Lignin (DM %); Starch (%DM); WSC: water-soluble carbohydrate (DM %); IVDDM: in vitro digestibility of dry matter (DM %); BC: buffering capacity (hjh buffering capacity (meq./100 g of DM); CV: coefficient of variation (%); Linear: probability for linear effect; Deviation: probability for linearity deviation effect.

Observou-se efeito linear ($P < 0,05$) crescente para o teor de carboidratos solúveis residuais. Porém, esse efeito não era esperado, uma vez que a maior exposição ao ar deveria favorecer a proliferação de leveduras, que consumiriam esses carboidratos. Por outro lado, a aeração pode ter prejudicado as bactérias lácticas, que também utilizam os carboidratos solúveis como substrato.

Os dados de fermentação e perdas de matéria seca das silagens submetidas aos tratamentos encontram-se na tabela 3. O tempo de aeração não alterou as concentrações de etanol, contrastando com a hipótese do presente estudo, de que um maior tempo ocorrido entre o corte da planta e o momento da ensilagem, favoreceria o desenvolvimento de leveduras, acarretando maior produção de etanol. A produção de etanol foi bastante elevada, independentemente do tempo de aeração. Pode-se concluir que essa diferença no manejo da ensilagem não alterou o desenvolvimento das leveduras, que conseguiram produzir alta quantidade de etanol. A fermentação alcoólica foi mais intensa do que a reportada por Alli, Baker e Garcia (1982) que observaram teor de etanol em torno de 9,0% na MS da silagem, em experimento com silagem de cana-de-açúcar, apresentando 28,0% de MS com 52,0% de CHO solúveis iniciais. Os valores de etanol também estão acima dos relatados por Castrillón, Shimada e Calderón (1978), que observaram concentração de etanol de 5,1% em silagem de cana-de-açúcar sem uso de aditivos, e dos observados por Pedroso (2003), com 7,9% de etanol na MS aos 45 dias de ensilagem da cana-de-açúcar.

Houve desvio da linearidade ($P < 0,05$) nos teores de ácido acético. Apenas com 8 horas de aeração os níveis de ácido acético estiveram dentro dos limites de 2% na matéria seca, considerado como máximo para uma silagem de boa qualidade (VILELA, 1998). Já na classificação considerada por Muck (1987), todos os tratamentos resultaram em teor de ácido acético acima do satisfatório de no máximo 0,8%. Níveis de ácido acético superiores a este indicam alterações indesejáveis durante o processo de ensilagem.

O efeito linear ($P < 0,05$) foi observado nas concentrações de ácido butírico. A concentração deste ácido diminuiu com o maior tempo de aeração, mas os níveis foram satisfatórios em todos os tratamentos, significando que não houve fermentação por *Clostridium*, o que provavelmente foi inibido pelo baixo pH. A baixa produção de ácido butírico, valores próximos à zero, indicam que transformações indesejáveis não ocorreram dentro da massa ensilada (SILVEIRA, 1987), exceto pela alta produção de etanol.

Tabela 3 – Perfil fermentativo das silagens
 Table 3 – Fermentation pattern of silage

Variável <i>Variable</i>	Tratamento <i>Treatment</i>			Média <i>Mean</i>	CV <i>CV</i>	Probabilidade <i>Probability</i>		Equação <i>Equation</i>	R ²
	0h	4h	8h			Linear <i>Linear</i>	Desvio <i>Deviation</i>		
Etanol <i>Ethanol</i>	21,22	22,46	22,93	22,20	7,08	0,1495	0,6955	--	--
Acético <i>Acetic</i>	2,80	2,70	1,50	2,33	27,83	0,0001	0,0030	$Y = 2,802 + 0,110x - 0,034x^2$	0,9048
Propiônico <i>Propionic</i>	0,04	0,02	0,01	0,02	44,86	0,0001	0,2169	$Y = 0,043 - 0,034x$	0,8321
Butírico <i>Butyric</i>	0,21	0,19	0,16	0,19	17,83	0,0446	0,6739	$Y = 0,215 - 0,006x$	0,3946
Lático <i>Lactic</i>	3,88	3,33	2,46	3,22	24,54	0,0061	0,6495	$Y = 3,932 - 0,176x$	0,5897
Rel Lát:Acé <i>Lac:Ace ratio</i>	1,38	1,25	1,64	1,42	21,37	0,2220	0,1519	--	--
Rel Áci:Eta <i>Aci:Eth ratio</i>	0,32	0,27	0,18	0,26	26,67	0,0001	0,2451	$Y = 0,335 - 0,018x$	0,8189
Rel Lát:Eta <i>Lac:Eth ratio</i>	0,18	0,14	0,10	0,14	27,63	0,0040	0,8208	$Y = 0,184 - 0,009x$	0,6203
N-NH ₃ <i>NH₃-N</i>	12,05	9,53	8,16	9,91	24,27	0,0176	0,6330	$Y = 11,863 - 0,486x$	0,4899
pH <i>pH</i>	3,41	3,45	3,57	3,48	2,42	0,0036	0,2808	$Y = 3,399 + 0,019x$	0,6485
Perdas <i>Losses</i>	28,52	39,42	38,61	35,52	23,20	0,0750	0,2107	--	--

Etanol (% MS); Acético (% MS); Propiônico (% MS); Butírico (% MS); Lático (% MS); Rel Lát:Acé: relação lático:acético; Rel Áci:Eta: relação ácidos:etanol; Rel Lát:Eta: relação lático:etanol; N-NH₃: nitrogênio amoniacal (% do N total); Perdas: perdas de matéria seca (% MS); CV: coeficiente de variação (%); Linear: probabilidade para efeito linear; Desvio: probabilidade para efeito do desvio da linearidade.

Ethanol (DM %); Acetic (DM %); Propionic (DM %); Butyric (DM %); Lactic (DM %); Lac:Ace ratio: lactic:acetic ratio; Aci:Eth ratio: acid:ethanol ratio; Lac:Eth ratio: lactic:ethanol ratio; NH₃-N: ammoniacal nitrogen (% of total N); Losses: dry matter losses (DM %); %; C

V: coefficient of variation (%); Linear: probability for linear effect; Deviation: probability for linearity deviation effect.

Para as concentrações de ácido propiônico e ácido láctico foi observado efeito linear ($P < 0,05$) com declínio ao longo dos tempos de aeração. O nível de ácido láctico observado no tempo 8 horas foi abaixo de 3% na MS, teor considerado como satisfatório por Vilela (1990), o que pode significar que a maior exposição prejudicou o desenvolvimento das bactérias ácido lácticas homofermentativas. De acordo com Alli et al. (1983), a produção alta de etanol, significa que houve expressivo desenvolvimento de leveduras, que além de aumentarem as perdas de MS e os teores de FDA, contribuem para a baixa produção de ácido láctico.

Nenhum efeito foi observado na relação ácido láctico:ácido acético, indicando que não houve melhora no perfil de fermentação ácida das silagens. Efeito linear ($P < 0,05$) decrescente foi observado sobre a relação ácidos:etanol (somatória dos ácidos, dividida pelo teor de etanol), o que significa que o maior tempo de exposição piorou o perfil fermentativo, uma vez que a fermentação alcoólica foi mais alta do que a fermentação ácida. O mesmo pode ser constatado também pelo efeito linear ($P < 0,05$) decrescente observado pela relação ácido láctico:etanol.

O aumento no tempo de aeração diminuiu linearmente ($P < 0,05$) os valores de nitrogênio amoniacal. Os valores estão acima dos citados por Silveira (1987), com silagem de milho, que afirma que uma silagem de boa qualidade possui nitrogênio amoniacal de no máximo 8% do N total. Não foram encontrados dados na literatura sobre os valores de nitrogênio amoniacal em silagens de cana-de-açúcar. De acordo com Rodrigues et al. (2005), valores baixos de nitrogênio amoniacal são resultantes da baixa proteólise da atividade das enzimas da planta, já que parte das enzimas vegetais que desintegram proteína da forragem no interior do silo é ativa somente em pH acima de 5,0. Além disso, este fato se confirma não só pelo baixo pH do presente estudo, mas também pela baixa quantidade de proteína na cana-de-açúcar, portanto baixa proteólise.

Observou-se efeito linear crescente da aeração ($P < 0,05$) nos valores de pH. Dessa forma, o maior tempo de aeração determinou menor intensidade do processo de fermentação bacteriana, traduzido pelo aumento do pH, corroborando com a literatura (TOSI et al., 1999; WYSS, 1999). Não houve alteração nas perdas de matéria seca das silagens. As perdas não foram estatisticamente significativas, mas apresentaram tendência ao aumento linear ($P < 0,10$).

Os dados de estabilidade aeróbia das silagens encontram-se na Tabela 4. O maior tempo de aeração aumentou a máxima temperatura e também houve aumento do tempo para atingir a temperatura máxima. Embora isso não resultasse em aumento da taxa de elevação de temperatura, resultou em diminuição do tempo necessário para elevação da temperatura em 2°C, o que indica que a aeração diminuiu a estabilidade aeróbia.

De acordo com Rust, Kim e Henders (1989), o aumento nas concentrações de ácido láctico, resultado principalmente de fermentação homofermentativa, poderia resultar em silagens menos estáveis à deterioração aeróbia, quando da abertura do silo. No presente estudo, as concentrações de ácido láctico foram diminuídas com o maior tempo de aeração. Rodrigues et al. (2002) consideraram como hipótese, que a preservação dos carboidratos solúveis após a abertura do silo, junto com o baixo pH, favoreceria o desenvolvimento de leveduras, direcionando a produção de etanol. Portanto, maior número de leveduras estariam aptas a iniciar o processo de fermentação secundária, quando da abertura do silo, o que poderia diminuir a estabilidade aeróbia das silagens (RODRIGUES et al., 2002).

O alto teor de etanol obtido no presente experimento, independente do tempo de exposição do material ao ar antes do processo de ensilagem, não está de acordo com a hipótese inicialmente proposta nesta pesquisa. Através do aumento no tempo de exposição, esperava-se favorecer o desenvolvimento das leveduras, o que resultaria em maior produção de etanol com o aumento do tempo de exposição.

Tabela 4 – Estabilidade aeróbia das silagens

Table 4 – Aerobic stability of silages

Variável <i>Variable</i>	Tratamento <i>Treatment</i>			Média <i>Mean</i>	CV <i>CV</i>	Probabilidade <i>Probability</i>		Equação <i>Equation</i>	R ²
	0h	4h	8h			Linear <i>Linear</i>	Desvio <i>Deviation</i>		
Tempo (h) <i>Period (h)</i>	112,75	152,25	205,75	156,91	25,43	0,0001	0,0064	$Y = 112,75 + 8,125x + 0,437x^2$	0,9934
Máx (°C) <i>Max (°C)</i>	27,06	32,01	35,08	31,64	14,46	0,0019	0,7621	$27,243 + 1,101x$	--
Taxa (°C/h) <i>Rate (°C/h)</i>	0,04	0,06	0,05	0,05	535,81	0,4690	0,3036	--	--
Tempo 2°C (h) <i>Period 2°C (h)</i>	28,25	18,25	16,00	20,83	27,59	0,0001	0,0035	$Y = 28,25 - 3,468x + 0,242^2$	0,7394

Tempo: tempo decorrido para alcançar a máxima temperatura (horas); Máx.: máxima temperatura alcançada (°C); Taxa: taxa de elevação da temperatura (°C/hora); Tempo 2°C (h): tempo para elevação da temperatura em 2°C; CV: coeficiente de variação (%); Linear: probabilidade para efeito linear; Desvio: probabilidade para efeito do desvio da linearidade.

Period: period of time to reach maximum temperature (hours); Max.: maximum temperature achieved(°C); Rate: rate to increase temperature (°C/hour); Period 2°C (h): period of time to increase temperature in 2°C; CV: coefficient of variation (%); Linear: probability for linear effect; Deviation: probability for linearity deviation effect.

4 CONCLUSÕES

O aumento no tempo de exposição da cana-de-açúcar antes da ensilagem, diminuiu a fermentação ácida, mas não a alcoólica, indicando que melhorias no manejo, em relação ao tempo decorrido entre a picagem e a ensilagem, possuem efeito limitado na confecção da silagem de cana-de-açúcar.

REFERÊNCIAS

ALLI, I.; BAKER, B. E.; GARCIA, G. Studies of the fermentation of chopped sugarcane. **Animal Feed Science and Technology**, v. 7, n. 4, p. 411-417, 1982.

ALLI, I.; FAIRBAIRN, R.; BAKER, B. E.; GARCIA, G. The effects of ammonia on the fermentation of chopped sugarcane. **Animal Feed Science and Technology**, v. 9, n. 4, p. 291-299, 1983.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis**. 10. ed. Washington: A.O.A.C., 1980.

CASTRILLÓN, M. V.; SHIMADA, A. S.; CALDERÓN, F. M. Manipulación de la fermentación en ensilajes de caña de azúcar y su valor alimenticio para borregos. **Técnica Pecuária en México**, v. 35, n. 1, p. 48-55, 1978.

COAN, R. M.; VIEIRA, P. F.; SILVEIRA, R. N.; REIS, R. A.; MALHEIROS, E. B.; PEDREIRA, M. S. Inoculante enzimático-bacteriano, composição química e parâmetros fermentativos das silagens dos capins Tanzânia e Mombaça. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 34, n. 2, p. 416-424, 2005.

COAN, R. M.; SILVEIRA, R. N.; BERNARDES, T. F.; REIS, R. A.; MORENO, T. T. B.; MOREIRA, A. L. Composição química da cana-de-açúcar crua ou queimada ensilada com aditivo (compact disc). In: REUNIÃO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 39., 2002, Recife. **Anais...** Recife: SBZ, 2002.

ERWIN, E. S.; MARCO, G. J.; EMERY, E. M. Volatile fatty acid analyses of blood and rumen fluid by gas chromatography. **Journal of Dairy Science**, v. 44, n. 9, p. 1768-1771, 1961.

FOLDAGER, J. **Protein requirement and non protein nitrogen for high producing cow in early lactation**. 1977. Ph D. tesis. Michigan State University, Michigan, 1977.

HENDRIX, D. L. Rapid extraction and analysis of nonstructural carbohydrates in plant tissues. **Crop Science**, v. 33, n. 6, p. 1306-1311, 1993.

JOHNSON, R. R.; BALWANI, T. L.; JOHNSON, L. J.; McCLURE, K. E.; DEHORITY, B. A. Corn plant maturity. II Effect on in vitro cellulose digestibility and soluble carbohydrate content. **Journal of Animal Science**, v. 25, n. 3, p. 617-623, 1966.

KULASEK, G. A micromethod for determination of urea in plasma, whole blood and blood cells using urease and phenol reagent. **Polish Archiwun Weterynaryjne**, v. 15, n. 4, p. 801-810, 1972.

LAMMERS, B. P.; BUCKMASSTER, D. R.; HEINRICHS, E. J. A simple method for the analysis of particle sizes of forages and total mixed rations. **Journal of Dairy Science**, v. 79, n. 5, p. 922-928, 1996.

LIMA, M. L. M.; MATTOS, W. R. S. Cana-de-açúcar na alimentação de bovinos leiteiros. In: SIMPÓSIO SOBRE NUTRIÇÃO DE BOVINOS. 5., 1993, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1993. p. 77-105.

MCDONALD, P.; HENDERSON, A. R.; HERON; S. J. E. **Biochemistry of silage**. 2. ed. Marlow: Chalcombe Publication, 1991. 226 p.

MUCK, R. E. Factors influencing silage quality and their implications for management. **Journal of Dairy Science**, v. 71, n. 11, p. 2992-3002, 1987.

PEDROSO, A. F. **Aditivos químicos e microbianos no controle de perdas e na qualidade de silagem de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.)**. 2003. 120 p. Dissertação (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2003.

PEREIRA, J. R. A; ROSSI JR., P. **Manual Prático de Avaliação Nutricional de Alimentos**. 1.ed. Piracicaba: FEALQ, 1995. 25 p.

PRESTON, T. R.; HINOJOSA, C.; MARTINEZ, L. Ensiling of sugarcane with ammonia molasses and mineral acids. **Tropical Animal Production**, v. 1, n. 1, p. 120-126, 1976.

RODRIGUES, P. H. M.; SENATORE, A. L.; ANDRADE, S. J. T; RUZANTE, J. M.; LUCCI, C.S.; LIMA, F.R. Efeitos da adição de inoculantes microbianos sobre a composição bromatológica e perfil fermentativo da silagem de sorgo produzida em silos experimentais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 31, n. 6, p. 2373-2379, 2002.

RODRIGUES, P. H. M.; BORGATTI, L. M. O.; GOMES, R. W.; PASSINI, R.; MEYER, P. M. Efeito da adição de níveis crescentes de polpa cítrica sobre a qualidade fermentativa e o valor nutritivo da silagem de capim-elefante. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 34, n. 4, p. 1138-1145, 2005.

RUPPEL, K. A.; PITT, R. E.; CHASE, L. E.; GALTON, D. M. Bunker silo management and its relationship to forage preservation on dairy farms. **Journal of Dairy Science**, v. 78, n. 1, p. 141-153, 1995.

RUST, S. R.; KIM, H. S.; ENDERS, G. L. Effects of microbial inoculant fermentation characteristics and nutritive value of corn silage. **Journal of Production and Agriculture**, v. 2, n. 1, p. 235-241, 1989.

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM – SAS. SAS User's guide: Statistics. 7. ed. Cary: 1998.

SANTOS, R. V. **Silagem de cana-de-açúcar em duas idades de corte com diferentes aditivos**. 2004. 89 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004.

SILVEIRA, A. C. Produção e utilização de silagens. In: SEMANA DE ZOOTECNIA, 12., 1987, Pirassununga. **Anais...** Pirassununga: Fundação Cargill, 1987. p. 119-134.

TILLEY, J. M. A.; TERRY, R. A. A two-stage technique for the *in vitro* digestion of forage crops. **The Journal of the British Grassland Society**, v. 18, n. 2, p. 104-111, 1963.

TOSI, P.; MATTOS, W. R. S; TOSI, H.; JOBIM, C. C.; LAVEZZO, W. Avaliação do capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) cultivar taiwan A-148, ensilado com diferentes técnicas de redução de umidade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 28, n. 5, p. 947-954, 1999.

VAN SOEST, P. J.; ROBERTSON, J. B.; LEWIS, B. A. Symposium: Carbohydrate methodology, metabolism, and nutritional implications in dairy cattle. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. **Journal Dairy Science**, v. 74, n. 1, p. 3583-3597, 1991.

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

VILELA, D. Utilização do capim-elefante na forma de forragem conservada. In: SIMPÓSIO SOBRE CAPIM ELEFANTE, 1., 1990, Coronel Pacheco, MG. **Anais...** Juiz de Fora, MG, Embrapa-CNPGL, 1990. p. 89-131.

VILELA, D. Aditivos para silagem de plantas de clima tropical. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 35., 1998, Botucatu. **Anais...** Botucatu: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 1998. p. 73-103.

WOOLFORD, M. K. **The Silage Fermentation**, Marcel Dekker Inc., New York, 1984. v. 14, 350 p.

WYSS, U. Influence pre-wilting degree on aerobic stability of grass silages. In: INTERNATIONAL SILAGE CONFERENCE. 7., 1999, Uppsala. **Proceedings...** Uppsala: Swedish University of Agricultural Science. 1999. p. 284-285.

CAPÍTULO IV

EFEITOS DO TEOR DE CARBOIDRATOS SOLÚVEIS SOBRE AS CARACTERÍSTICAS DA SILAGEM DE CANA-DE-AÇÚCAR

RESUMO – Considerando que teores elevados de carboidratos solúveis (CHOs) propiciam o desenvolvimento de leveduras que são as principais responsáveis pela produção de etanol, foi objetivo do presente experimento quantificar qual o teor de CHOs presentes na cana-de-açúcar que anula a produção de etanol, bem como avaliar os efeitos do teor de carboidratos solúveis sobre o valor nutritivo e outras características fermentativas da silagem de cana-de-açúcar. Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado com 3 tratamentos e quatro repetições por tratamento. A cana-de-açúcar sofreu processo de prensagem para retirada do caldo. No primeiro tratamento o caldo foi reconstituído à cana em sua totalidade (100%), no segundo apenas 50% do caldo retirado foi adicionado à cana, juntamente com 50% de água, e no terceiro caso foi adicionado 100% de água sem adicionar o caldo. Os tratamentos resultaram em concentrações de carboidratos solúveis de 41,6, 34,0 e 23,0% na matéria seca. O material foi ensilado em 12 silos experimentais confeccionados a partir de baldes plásticos com 6 litros de capacidade. A abertura dos silos ocorreu 85 dias após a ensilagem, quando foram determinados os teores dos ácidos orgânicos e a composição químico-bromatológica das silagens. A retirada de CHOs da cana-de-açúcar resultou em efeito linear decrescente do conteúdo de carboidratos sobre os teores de matéria seca, o mesmo ocorrendo para carboidratos solúveis e digestibilidade *in vitro* da matéria seca, mas com aumento nos teores de fibra detergente ácido, fibra detergente neutro e lignina. Referente aos dados de fermentação, observou-se efeito linear decrescente para o etanol, ácido láctico, butírico e perdas de matéria seca. Efeito linear crescente foi observado sobre as concentrações de ácido acético, valores de pH e nitrogênio amoniacal. Os dados de estabilidade aeróbia foram inconclusivos. A produção de etanol seria nula se a cana-de-açúcar contivesse apenas 12,4% de CHOs com base na matéria seca.

Palavras chave: Cana-de-açúcar. Carboidratos solúveis. Fermentação. Silagem. Valor nutritivo

EFFECT OF WATER SOLUBLE CARBOHYDRATES ON CHARACTERISTICS OF SUGARCANE SILAGE

ABSTRACT – Considering that high contents of water-soluble carbohydrate (WSC) favors growth of ethanol-producer yeast, the objectives of this trial were to quantify the WSC content present in sugarcane that nullifies ethanol production, and to evaluate the effects of WSC content on nutritive value and other fermentative characteristics of sugarcane silage. A completely randomized design was used with three treatments and four repetitions per treatment. Sugarcane was squeezed in order to remove juice. In the first treatment, juice was totally added back to sugarcane (100%). In the second treatment, only 50% of the juice were added back to sugarcane, along with 50% of water. In the third, 100% of water were added, with no addition of juice. Treatments resulted in water-soluble carbohydrates contents of 41.6, 34.0 and 23.0% on dry matter basis. The material was ensiled in 12 laboratory silos (6 liter-capacity plastic buckets). Silos were opened 85 days after ensiling, when organic acids contents and chemical composition of silages were determined. Withdrawal of sugarcane WSC resulted in negative linear effects on dry matter, soluble carbohydrate contents and on in vitro digestibility of dry matter, but with linear increase for ADF, NDF and lignin contents. About fermentation data, there was linear decrease for dry matter losses, lactic and butyric acids and ethanol contents. Positive linear effects were observed on pH values and ammoniacal nitrogen and acetic acid contents. Ethanol production would be null if sugarcane had only 12.4% of water-soluble carbohydrates on dry matter basis. Data from aerobic stability were inconclusive.

Key words: Ensiling. Fermentation. Forage. Nutritive value. Soluble carbohydrates.

INTRODUÇÃO

O processo de ensilagem da cana-de-açúcar é realizado a fim de diminuir os custos operacionais e poupar o trabalho do manejo diário do canavial, além de evitar perdas com possíveis geadas e queimadas. Porém, a cana ensilada possui altas concentrações de etanol, devido ao alto teor de carboidratos solúveis e população de leveduras presentes, que convertem açúcares a etanol, CO₂ e água, causando redução no teor de carboidratos solúveis, aumento nos componentes da parede celular e perdas de MS, o que diminui consideravelmente a qualidade e valor nutritivo da silagem (ALLI et al., 1983). Na tentativa de minimizar a produção de álcool, diversos autores utilizaram aditivos químicos e microbiológicos no momento de ensilar a forrageira.

Alcântara et al. (1989), comparando parâmetros nutricionais na silagem de cana-de-açúcar, sem aditivos ou ensilada com NaOH, que teoricamente inibe o desenvolvimento das leveduras, observaram que na silagem de cana-de-açúcar tratada a produção de álcool foi menor do que na silagem sem aditivo (14,5 % vs 2,2% na MS). Em contrapartida, Pedroso (2003), ao utilizar o NaOH como aditivo químico, não observou diminuição no teor de álcool das silagens tratadas em relação à controle, aos 90 ou 180 dias de fermentação.

Mais recentemente, Freitas et al. (2006), avaliando as características da silagem de cana-de-açúcar tratada com inoculante bacteriano, hidróxido de sódio ou acrescida de resíduo da colheita de soja, observaram que o resíduo da colheita da soja melhorou a qualidade nutritiva, reduziu as perdas de MS e a produção de etanol das silagens, enquanto que o tratamento com hidróxido de sódio diminuiu a produção de etanol, porém sem melhoria na qualidade nutritiva ou na redução das perdas de MS. Concluíram que a utilização de inoculante microbiano contendo *Lactobacillus plantarum* não melhorou a qualidade nutritiva, nem reduziu as perdas de MS ou a produção de etanol na silagem.

A adição de aditivos microbiológicos em silagem de cana-de-açúcar também foi estudada por Pedroso (2003) que, através da adição de *Lactobacillus buchneri* (3,64 x 10⁵ UFC/g de matéria verde), observou diminuição da perda total de matéria seca da silagem aditivada, em relação à silagem sem aditivos, mas não observou redução no teor de etanol produzido.

Ao avaliarem a fermentação de cana-de-açúcar em silos experimentais, Alli, Baker e Garcia (1982) observaram que a fermentação resulta em redução de 90% no teor de carboidratos solúveis e teor de etanol de 8,86% na MS da silagem. Segundo os autores, a produção de álcool está relacionada ao consumo de aproximadamente 50% da sacarose na cana fresca, sendo as leveduras responsáveis por este tipo de fermentação. O restante das perdas poderia ocorrer principalmente devido à respiração da planta, ao consumo de açúcares durante a fase aeróbia e, em menor quantidade, pela produção de ácidos pelas bactérias anaeróbias.

O presente estudo visou quantificar qual o teor de carboidratos solúveis presentes na cana-de-açúcar que anula a produção de etanol, sob a hipótese de que ao diminuir o teor de carboidratos solúveis, o desenvolvimento das leveduras seria prejudicado, resultando em menor teor de etanol na silagem. Também foram avaliados os efeitos dos teores de carboidratos solúveis sobre as características nutricionais e fermentativas, bem como nas perdas de matéria seca e estabilidade aeróbia das silagens.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido nas dependências do Departamento de Nutrição e Produção Animal da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo (Campus de Pirassununga).

Após a colheita manual da cana-de-açúcar, o caule foi separado das folhas. O caule foi passado duas vezes em engenho de cana com motor elétrico, da marca MAQTRON, modelo B728, potência 1/3CV, voltagem 220 e capacidade 60L/h, para a retirada do caldo. Em seguida o bagaço (caule sem o caldo) foi misturado às folhas e submetidos à picagem (Picadora – marca Nogueira, modelo EM-9F3B) em fragmentos médios de 1,55 cm de tamanho. A avaliação do tamanho médio de partículas foi realizado de acordo com a metodologia das peneiras do “PennState Particle Size Separator” proposto por Lammers, Buckmaster e Heinrichs (1996).

Para o primeiro tratamento o caldo retirado foi retornado em sua totalidade ao bagaço e folhas já picados. Para o segundo tratamento foi recolocado metade do caldo e metade de água e, para o terceiro tratamento, apenas água foi retornada ao bagaço e às folhas. Cálculos de rendimento mostraram que 63,60% do peso da cana corresponderam às folhas e bagaço e 36,4% corresponderam ao caldo. Com os dados de MS dessas duas frações, os cálculos foram elaborados retornando com água apenas o mesmo conteúdo de líquido retirado, tentando manter dessa forma, teores iguais de matéria seca entre os diferentes tratamentos. Tais cálculos foram realizados com base nos dados de MS do caldo e bagaço + folhas obtidos da cana-de-açúcar amostrada 15 dias antes. O intuito dos tratamentos foi diminuir os teores de carboidratos solúveis na cana, sem alterar os teores de MS. Para isso, ajustou-se os cálculos de forma a manter o teor de matéria seca estável.

Foram utilizados 12 silos experimentais confeccionados a partir de baldes plásticos com 252 mm de altura e 245 mm de diâmetro (6 litros de capacidade). A ensilagem foi realizada imediatamente após a preparação dos tratamentos. As respectivas massas foram colocadas dentro de cada silo e compactadas, sendo os silos fechados com tampas e, então, pesados. A compactação correspondeu à densidade de 500 kg de silagem/m³. Os silos foram armazenados verticalmente em local abrigado e abertos após 85 dias de estocagem.

Antes da abertura, os silos foram pesados para posterior determinação das perdas de matéria seca (MS). Os cálculos das perdas por fermentação foram realizados pela diferença

entre os pesos das massas obtidos no enchimento e abertura dos silos, multiplicados pelos respectivos teores de matéria seca. Finalmente, as perdas foram transformadas em porcentagem da massa inicial.

As análises foram conduzidas no Laboratório de Nutrição Animal do Departamento de Nutrição e Produção Animal da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo (VNP/FMVZ/USP). Os silos foram abertos e as massas retiradas foram homogeneizadas, sendo uma parcela separada para determinação de MS a 65°C e 105°C, em estufa com circulação forçada de ar, proteína bruta (PB), segundo AOAC (1980), componentes da parede celular (FDN, FDA e Lignina) segundo Van Soest, Robertson e Lewis (1991).

Os carboidratos solúveis (CHOs) foram determinados de acordo com a metodologia de Johnson et al. (1966), o amido segundo Pereira e Rossi (1995), modificando esta técnica para prévia extração dos carboidratos solúveis segundo Hendrix (1993), e o nitrogênio insolúvel em detergente ácido (NIDA) segundo Van Soest e Robertson (1985). Outra fração foi congelada imediatamente para futura contra-prova e uma outra ainda, foi colocada em prensa manual para a extração do suco.

Imediatamente após a prensagem do material, 50 mL de suco de silagem foram utilizados para a determinação do pH em potenciômetro digital de mesa (marca Procyon, modelo 310), calibrados com soluções tampão de pH 4,0 e 7,0.

A determinação dos ácidos orgânicos e do etanol contidos no suco da silagem foi realizada através de cromatografia gasosa, segundo método preconizado por Erwin, Marco e Emery (1961). Para tal, foi utilizado cromatógrafo a gás (marca Finnigan, modelo 9001), equipado com coluna de vidro de sílica MEGABOR (marca OHIO VALLEY, modelo OV-351) de 30 m X 0,53 mm e fase estacionária de 1,0 micron. As determinações foram realizadas injetando-se 1,0 microlitro de amostra ao cromatógrafo. Este era integrado ao computador que processava os cálculos de quantificação por meio do programa computacional Borwin (versão 1.21) para cromatografia, utilizando-se a solução padrão como base para o cálculo das concentrações de ácidos orgânicos da amostra. O número de repetições por amostra foi aquele necessário para que a diferença entre leituras fosse inferior a 5%. A solução padrão foi injetada a cada 10 injeções sucessivas de amostras, tentando-se evitar, dessa maneira, possíveis distorções das leituras em função da contaminação da coluna. Os cálculos das concentrações dos ácidos orgânicos foram realizados em microcomputador, comparando-se as amostras à solução padrão.

Ainda durante a coleta de amostras, alíquotas de 2 mL de suco de silagem foram colocadas em tubos de ensaio contendo 1 ml de solução de ácido sulfúrico 1 N e armazenadas sob refrigeração até a realização das análises de nitrogênio amoniacal, que foram realizadas por colorimetria, segundo método proposto por Kulasek (1972) e adaptado por Foldager (1977). As leituras em absorvância foram realizadas em espectrofotômetro (marca Beijing Rayleigh AIC modelo VIS-7220) regulado em 630 nm. Os valores de absorvância foram utilizados para calcular as concentrações de nitrogênio amoniacal em mg de N-NH₃/100 mL, pela equação de regressão linear obtida a partir da calibração do aparelho com soluções-padrão de diferentes concentrações.

A digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS) foi determinada segundo Tilley e Terry (1963) por meio da pesagem de 0,5 g de amostra pré-seca, em tubos de centrífuga, previamente secos e calibrados. Aos tubos foram adicionados 40 mL de solução de McDougall (saliva artificial) e 10 mL de inóculo de rúmen de animais alimentados com pastagem de Braquiária, além de sal mineralizado no cocho. Passou-se CO₂ em cada tubo e arrolhou-se imediatamente com rolhas de borracha contendo válvula de “bunsen”. Incubou-se por 48 horas em estufa de temperatura controlada, agitando-se, pelo menos 3 a 4 vezes durante a fermentação. A segunda fase ocorreu após a centrifugação e descarte do sobrenadante. Foram adicionados 50 mL de solução de pepsina (1:10.000) a 0,2% em cada tubo, agitando-se e os colocando em estufa a 39°C por mais 48 horas. Após a lavagem, secagem e pesagem dos tubos, foram realizados os cálculos segundo a fórmula abaixo:

$$\text{DIVMS} = \frac{100 \times \text{g de MS na amostra} - (\text{g de MS residual} - \text{g de MS do branco})}{\text{g de MS da amostra}}$$

Para a determinação da estabilidade aeróbia da silagem, aproximadamente 2,0 kg de massa úmida foram retirados de cada balde, transferidos para caixa de isopor com capacidade de 12 litros e armazenados em local coberto com temperatura controlada (25°C). As temperaturas das silagens foram obtidas a cada hora, durante 14 dias, por meio de Sistema de Monitoração e Aquisição de Dados (SIMAD), composto por 12 sensores de temperatura, 2 módulos de aquisição de dados, 1 conversor de rede e 1 software para Monitoramento, Aquisição e Controle de Variáveis Ambientais (MACVA), versão 1.2 de fabricação da AUTSENS - Indústria e Comércio de Equipamentos Eletrônicos. Adicionalmente, foram avaliadas as temperaturas máximas alcançadas (°C), o tempo necessário para alcançá-las e o

tempo para elevação dessas temperaturas em 2°C, os dois últimos em horas. A estabilidade aeróbia foi calculada como taxa de elevação de temperatura, usando o máximo da temperatura observada dividida pelo tempo necessário para alcançar a máxima temperatura (RUPPEL et al., 1995).

Foi utilizado delineamento inteiramente casualizado com 3 tratamentos e quatro repetições por tratamento. Os 3 tratamentos corresponderam às adições de 0% de água (100% de caldo), 50% de água (50% de caldo) e 100% de água (0% de caldo) às porções de folhas junto com o bagaço.

Os dados foram analisados usando-se o programa computacional Statistical Analysis System (SAS Institute Inc., 1998), sendo anteriormente verificada a normalidade dos resíduos pelo Teste de Shapiro-Wilk (PROC UNIVARIATE). Os dados (variável dependente) que não atenderam a esta premissa foram submetidos à transformação logarítmica [$\text{Log}(X+1)$] ou pela raiz quadrada [$\text{RQ}(X+1/2)$]. Os dados originais ou transformados, quando este último procedimento foi necessário, foram submetidos à análise de regressão polinomial, pelo procedimento GLM, decompondo-se os efeitos em lineares e desvio da linearidade.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A composição química da cana-de-açúcar utilizada encontra-se na tabela 1. Os teores de MS e carboidratos solúveis foram maiores do que os observados por Coan et al. (2005) de 27% de MS e 17% de CHOs. Observa-se que a porcentagem de MS não foi mantida constante como desejado. Isso se explica em virtude da diferença entre o material previamente amostrado para cálculo de MS e o material processado no dia da ensilagem. Entretanto o teor de carboidratos solúveis caiu substancialmente de 41,6% para 34,0% e 23,0%, para os tratamentos com 0%, 50% e 100% de substituição.

Tabela 1 – Composição bromatológica da cana-de-açúcar fresca

Table 1 - Chemical composition of fresh sugarcane

	Cana-de-açúcar			
	Cana <i>in natura</i> Whole sugarcane	0% água 0% water	50% água 50% water	100% água 100% water
MS	36,23	34,04	33,01	29,13
DM				
PB	2,59	2,24	2,35	2,79
CP				
NIDA	30,09	34,24	36,61	27,02
ADIN				
FDA	34,46	31,08	35,40	40,99
ADF				
FDN	57,68	53,40	60,65	69,98
NDF				
Lignina	5,62	5,67	6,68	7,16
Lignin				
Amido	0,22	0,22	0,19	0,14
Starch				
CHOs	41,14	41,63	34,04	22,98
WSC				
DIVMS	52,96	56,94	53,15	45,63
IVDDM				
PT	9,22	9,26	7,71	7,74
BC				

MS: matéria seca total (%); PB: proteína bruta (% MS); NIDA: nitrogênio insolúvel em detergente ácido (% do N total); FDA: fibra em detergente ácido (% MS); FDN: fibra em detergente neutro (% MS); Lignina (% MS); Amido (% MS); CHOs: carboidratos solúveis (% MS); DIVMS: digestibilidade *in vitro* da matéria seca (% MS) e PT: poder tampão (meq./100 g MS de forragem).

DM: dry matter (%); CP: crude protein (DM %); ADIN: acid detergent insoluble nitrogen (% of total N); ADF: acid detergent fiber (DM %); NDF: neutral detergent fiber (DM %); Lignin (DM %); Starch (DM %); WSC: water-soluble carbohydrate (DM %); IVDDM: *in vitro* digestibility of dry matter (DM %); BC: buffering capacity (meq./100 g of DM).

Os dados de composição bromatológica das silagens submetidas às adições de água encontram-se na tabela 2. Observou-se efeito linear ($P < 0,05$) decrescente para os teores de MS. Esse decréscimo não era esperado, uma vez que se procurou manter o mesmo teor de MS, mesmo após a substituição do caldo pela água. Os resultados se apresentam de acordo com os citados por Woolford (1984), que propôs teores de matéria seca em torno de 25% a 28% para se obter silagem de boa qualidade.

Para as variáveis FDA, FDN e lignina também houve efeito linear ($P < 0,05$), sendo os maiores valores observados com o tratamento acrescido de 100% de água na reconstituição. De acordo com Van Soest (1994), a análise de FDN estima a concentração total de celulose, hemicelulose e lignina da parede celular e a análise de FDA representa a estimativa do teor total de celulose e de lignina da amostra. Em virtude do aumento das porções fibrosas, houve redução da digestibilidade *in vitro* da matéria seca, tendo sido observado efeito linear decrescente ($P < 0,05$) para este parâmetro.

Com relação ao conteúdo de carboidratos solúveis, houve efeito linear ($P < 0,05$), com redução dos teores, fato já esperado, uma vez que através da substituição do caldo por água, diminuiu-se o teor de carboidratos solúveis. Para a adição de 0% de água, houve desaparecimento de 75% dos carboidratos solúveis, em relação ao início da ensilagem; para a adição de 50% de água houve redução de 79% e para a adição de 100% de água, a redução foi de 81% dos carboidratos. Os resultados estão acima dos relatados por Pedroso (2003) que, ao avaliar a silagem de cana-de-açúcar aos 12 meses de crescimento, observou desaparecimento de 68,0% dos carboidratos solúveis presentes no início da ensilagem. Alli, Baker e Garcia (1982), ao ensilarem cana-de-açúcar em tambores de 205 litros, observaram teor de carboidratos solúveis de apenas 1,3% da MS, teor de MS de 33% e 9% de etanol com base na matéria seca.

Tabela 2 – Composição bromatológica das silagens

Table 2 – Chemical composition of silages

Variável <i>Variable</i>	Tratamento <i>Treatment</i>			Média <i>Mean</i>	CV <i>CV</i>	Probabilidade <i>Probability</i>		Equação <i>Equation</i>	R ²
	0% água <i>0% water</i>	50% água <i>50% water</i>	100% água <i>100% water</i>			Linear <i>Linear</i>	Desvio <i>Deviation</i>		
MS	27,57	26,22	24,57	26,12	5,15	0,0001	0,6144	Y = 27,620 – 0,029x	0,9007
DM									
PB	3,09	2,79	2,97	2,95	6,24	0,2891	0,0268	Y = 3,095 – 0,010x + 0,0000955x ²	0,4783
CP									
NIDA	30,36	34,35	32,21	32,31	9,28	0,3625	0,0992	--	--
ADIN									
FDA	46,69	49,56	54,77	50,34	7,71	0,0002	0,3329	Y = 46,299 + 0,080x	0,8104
ADF									
FDN	69,62	75,95	78,18	73,92	5,55	0,0002	0,9679	Y = 69,640 + 0,085x	0,7916
NDF									
Lignina	7,48	8,02	8,68	8,06	8,51	0,0080	0,8375	Y = 7,460 + 0,012x	0,5616
Lignin									
Amido	4,38	2,09	1,16	2,54	56,92	0,0001	0,0096	Y = 4,385 – 0,059x + 0,000273x ²	0,9792
Starch									
CHOs	10,79	7,27	4,21	7,42	43,52	0,0005	0,8399	Y = 10,707 – 0,065x	0,7560
WSC									
DIVMS	45,41	42,79	38,55	42,25	7,52	0,0001	0,3415	Y = 45,680 – 0,068x	0,8592
IVDDM									
PT	18,78	16,81	16,65	17,42	10,32	0,5190	0,3928	--	--
BC									

MS: matéria seca total (%); PB: proteína bruta (% MS); NIDA: nitrogênio insolúvel em detergente ácido (% do N total); FDA: fibra em detergente ácido (% MS); FDN: fibra em detergente neutro (% MS); Lignina (% MS); Amido (% MS); CHOs: carboidratos solúveis (% MS); DIVMS: digestibilidade *in vitro* da matéria seca (% MS); PT: poder tampão (meq./100 g MS de forragem); CV: coeficiente de variação (%); Linear: probabilidade para efeito linear; Desvio: probabilidade para efeito de desvio da linearidade.

DM: dry matter (%); CP: crude protein (DM %); ADIN: acid detergent insoluble nitrogen (% of total N); ADF: acid detergent fiber (DM %); NDF: neutral detergent fiber (DM %); Lignin (DM %); Starch (DM %); WSC: water-soluble carbohydrate (DM %); IVDDM: *in vitro* digestibility of the dry matter (DM %); BC: buffering capacity (meq./100g of DM); CV: coefficient of variation (%); Linear: probability for linear effect; Deviation: probability for deviation of linearity effect.

Houve desvio da linearidade ($P < 0,05$) para os teores de proteína bruta e amido, embora as diferenças encontradas para a PB tenham sido pequenas. Vale ressaltar que a cana-de-açúcar é uma forrageira que possui baixa quantidade de proteína, em torno de 3%. Por isso a necessidade da adição de outras fontes de nitrogênio, quando se utiliza silagem de cana na alimentação animal.

Não foram observados resultados significativos para as variáveis poder tampão e nitrogênio insolúvel em detergente ácido (NIDA). De acordo com a literatura (VILELA, 1998; RODRIGUES et al., 2004), os teores de NIDA refletem a ocorrência da reação de Mayllard, que promove a complexação do nitrogênio à fibra, especialmente a hemicelulose, levando à diminuição do valor nutritivo da silagem por meio da indisponibilização daquele nutriente para o aproveitamento pelo animal. Esse fenômeno frequentemente é observado na presença de calor e umidade. Entretanto, admite-se que esse complexo não tenha se formado durante o processo de fermentação, uma vez que a planta fresca já possuía alta porcentagem de nitrogênio ligado à fibra.

Os dados de fermentação e perdas de matéria seca das silagens encontram-se na tabela 3. Houve redução linear ($P < 0,05$) nos teores de etanol, possivelmente explicada pelos menores teores de carboidratos solúveis na silagem reconstituída com água e, conseqüente, menor metabolização a etanol pelas leveduras. Somente os resultados do tratamento com reconstituição de 100% de água são próximos aos encontrados por Bernardes et al. (2002), que ao ensilar a cana-de-açúcar aos 12 meses, período em que o teor de carboidratos solúveis está em torno de 23% na MS (PEDROSO et al., 2005), constataram teor de 6,8% de etanol na matéria seca. Pedroso (2003), estudando a dinâmica da fermentação em silagens de cana-de-açúcar com 34,0% de carboidratos solúveis, ensilada aos 12 meses de crescimento, observou nível máximo de etanol de 6,4% na MS após 15 dias de ensilagem. Este teor está abaixo do encontrado no presente estudo, comparando ao tratamento onde a reconstituição foi feita com 50% de água (teor de etanol de 10,7% na MS), correspondente ao nível de 34% de carboidratos solúveis na cana-de-açúcar antes da ensilagem. Neste experimento, a silagem apresentou fermentação alcoólica mais intensa do que a reportada por Alli, Baker e Garcia (1982) que ao ensilar cana-de-açúcar com 28% de MS e 52% de carboidratos solúveis, verificaram estabilização no teor de etanol em 9,0% da MS no sexto dia de ensilagem.

Efeito linear ($P < 0,05$) crescente foi também observado para os teores de ácido acético. Pedroso (2003) afirmou que o ácido acético possui poder fungicida, o que acarretaria em diminuição na quantidade de leveduras e, por conseqüência, diminuiria a produção de álcool,

corroborando com o presente estudo. Nas três condições o nível de ácido acético está acima do nível de 0,8%, proposto por Silveira (1987) como nível aceitável.

Houve aumento não linear ($P < 0,05$) do teor de ácido propiônico, com a diminuição dos carboidratos solúveis, o que de certa forma pode ser visto como efeito favorável, uma vez que as bactérias produtoras de ácido propiônico são avaliadas como colaboradoras da estabilidade aeróbia das silagens, pois competem com as leveduras epífitas (MCDONALD; HENDERSON; HERON, 1991).

Foi observado efeito linear decrescente ($P < 0,05$) nos teores de ácido butírico. Portanto, é possível afirmar que bactérias indesejáveis, como *Clostridium* sp, não estavam presentes nas silagens confeccionadas no estudo, uma vez que a produção de ácido butírico foi baixa nas três situações. Segundo Silveira (1987), este resultado é indicativo de que as transformações indesejáveis não ocorreram dentro da massa ensilada. No caso da cana-de-açúcar não se espera aumento do ácido butírico, uma vez que na cana ocorre excesso de carboidratos solúveis, o que favorece a fermentação láctica e alcoólica.

Para o ácido láctico também foi observado efeito linear ($P < 0,05$), com redução dos teores deste ácido. Mesmo com a adição de 0% de água, ou seja, mantendo o teor de carboidratos solúveis bem próximo do original, o teor de ácido láctico não alcançou o valor mínimo de 3,0% citado por Vilela (1990) para caracterizar uma silagem de boa qualidade. Vilela (1998) afirma que, em silagens de boa qualidade, o ácido láctico aparece em altas porcentagens, enquanto o ácido butírico deve ser baixo ou nulo. Observou-se efeito linear ($P < 0,05$) com aumento nos teores para o N-NH₃, resultado não satisfatório de acordo com Silveira (1987), que ao sintetizar relatos de diversos autores, afirmou que as silagens de boa qualidade apresentam valores de nitrogênio amoniacal de no máximo 8,0% do N total.

Houve efeito linear ($P < 0,05$) decrescente sobre a relação láctico:acético com a diminuição do teor de carboidratos da silagem, o que pode indicar piora no perfil fermentativo. Na relação ácidos:etanol houve desvio da linearidade ($P < 0,05$), com melhora na relação com 100% de reconstituição de água, já que neste caso, a quantidade de etanol produzida foi significativamente menor. Na relação láctico:etanol foi observado efeito linear ($P < 0,05$) decrescente, indicando que houve maior fermentação láctica do que alcoólica, quando a quantidade de carboidratos solúveis foi diminuída.

Tabela 3 – Perfil fermentativo das silagens
 Table 3 – Fermentation characteristics of silage

Variável <i>Variable</i>	Tratamento <i>Treatment</i>			Média <i>Mean</i>	CV <i>CV</i>	Probabilidade <i>Probability</i>		Equação <i>Equation</i>	R ²
	0% água <i>100% water</i>	50% água <i>50% water</i>	100% água <i>100% water</i>			Linear <i>Linear</i>	Desvio <i>Deviation</i>		
Etanol <i>Ethanol</i>	15,33	10,77	5,58	10,56	40,01	0,0001	0,5455	Y = 15,435 – 0,097x	0,9691
Acético <i>Acetic</i>	1,71	2,75	4,08	2,85	36,58	0,0001	0,3884	Y = 1,6645 + 0,023x	0,9455
Propiônico <i>Propionic</i>	0,06	0,38	1,14	0,53	90,88	0,0001	0,0082	Y = 0,061 + 0,00223x + 0,0000858x ²	0,9620
Butírico <i>Butyric</i>	0,12	0,08	0,03	0,08	49,38	0,0001	0,6644	Y = 0,130 – 0,000945x	0,9673
Lático <i>Lactic</i>	2,50	2,25	1,31	2,02	30,31	0,0007	0,1314	Y = 2,618 – 0,011x	0,7563
Rel Lát:Acé <i>Lac:Ace ratio</i>	1,47	0,82	0,32	0,87	59,71	0,0001	0,5709	Y = 1,453 – 0,011x	0,8820
Rel Áci:Eta <i>Aci:Eth ratio</i>	0,28	0,51	1,18	0,66	61,17	0,0001	0,0016	Y = 0,288 – 0,00001036x + 0,000089x ²	0,8189
Rel Lát:Eta <i>Lac:Eth ratio</i>	0,16	0,21	0,23	0,20	21,50	0,0163	0,6251	Y = 0,167 + 0,00071x	0,4985
N-NH ₃ <i>NH₃-N</i>	10,12	11,91	12,50	11,51	11,74	0,0057	0,3278	Y = 10,319 + 0,023x	0,6105
pH <i>pH</i>	3,36	3,37	3,44	3,39	1,682	0,0279	0,3138	Y = 3,350 + 0,00085x	0,4703
Perdas <i>Losses</i>	19,98	19,80	11,51	17,10	29,28	0,0041	0,0636	Y = 21,335 + 0,084x	0,6794

Etanol (% MS); Acético (% MS); Propiônico (% MS); Butírico (% MS); Lático (% MS); Rel Lát:Acé: relação lático:acético; Rel Áci:Eta: relação ácidos:etanol; Rel Lát:Eta: relação lático:etanol; N-NH₃: nitrogênio amoniacal (% do N total); Perdas: perdas de matéria seca (% MS); CV: coeficiente de variação (%); Linear: probabilidade para efeito linear; Desvio: probabilidade para efeito do desvio da linearidade.

Ethanol (DM %); Acetic (DM %); Propionic (DM %); Butyric (DM %); Lactic (DM %); Lac:Ace ratio: lactic:acetic ratio; Aci:Eth ratio: acid:ethanol ratio; Lac:Eth ratio: lactic:ethanol ratio; NH₃-N: ammoniacal nitrogen (% of total N); Losses: dry matter losses (DM %); %; CV: coefficient of variation (%); Linear: probability for linear effect; Deviation: probability for linearity deviation effect.

Observou-se efeito linear ($P < 0,05$) crescente do pH com a diminuição dos teores de carboidratos solúveis. O pH, mesmo com o leve aumento, ainda ficou um pouco abaixo dos valores aceitáveis (3,7 a 4,2). Chamberlain (1987) postulou que a rápida acidificação, devido à produção de ácido lático, poderia favorecer o desenvolvimento de leveduras não-sensíveis ao baixo pH e, assim, promover a fermentação de açúcares residuais a etanol. Aquela teoria postula que a produção de etanol se iniciaria depois de terminada a fermentação láctica. Entretanto, os dados do presente estudo mostraram que a fermentação alcoólica ou a fermentação acética competiram com a fermentação láctica, uma vez que houve diminuição da produção de ácido lático com a substituição de caldo por água, mesmo com grande quantidade de carboidratos solúveis residuais. No presente estudo houve diminuição dos teores de ácido lático e, portanto, menor acidificação do meio.

Efeito linear ($P < 0,05$) também foi observado para as perdas de matéria seca. Com a maior inclusão de água, as perdas foram menores, o que pode ser explicado pela menor concentração de carboidratos solúveis, não favorecendo tanto o desenvolvimento da população de leveduras, com diminuição da produção de etanol e, conseqüentemente, das perdas de matéria seca. Segundo Ranjit e Kung Jr. (2000), as leveduras presentes na silagem têm pH ótimo para desenvolvimento em torno de 3,5% e contribuem significativamente para o aumento nas perdas de matéria seca.

Os dados da relação entre as concentrações de carboidratos solúveis da planta (% da MS) e as concentrações de etanol na silagem (em % da MS) encontram-se na figura 1. Observou-se relação linear entre os tratamentos de substituição do caldo pela água e as concentrações de etanol na silagem. Quando esses dados de concentrações de etanol na silagem foram regredidos, não em função dos tratamentos, mas sim em função do teor de carboidratos solúveis, associado a cada tratamento, obteve-se a seguinte equação de regressão: $\text{Etanol} = -6,42 + 0,517 \cdot \text{CHO}$ ($R^2 = 0,9948$). Isso significa que para cada unidade percentual de carboidrato solúvel na planta resulta em 0,52 unidade percentual de etanol (com base na matéria seca da silagem). Significa também que se espera que a silagem tenha ausência de etanol ($\text{Etanol} = 0$) quando a cana-de-açúcar possuir menos do que 12,42% de carboidratos solúveis (se $\text{Etanol} = 0$, então $0 = -6,42 + 0,517 \cdot \text{CHO} \Rightarrow \text{CHO} = 12,42\%$). Esse valor de 12,42% de carboidratos solúveis que minimiza a produção de etanol está muito abaixo do valor normalmente encontrado para essa forrageira, que no presente experimento foi igual a 41,63%. Desta forma, conclui-se que dificilmente será possível conseguir silagens de cana-de-açúcar de boa qualidade apenas utilizando-se de técnicas de manejo da cultura ou processamento da forragem durante a ensilagem.

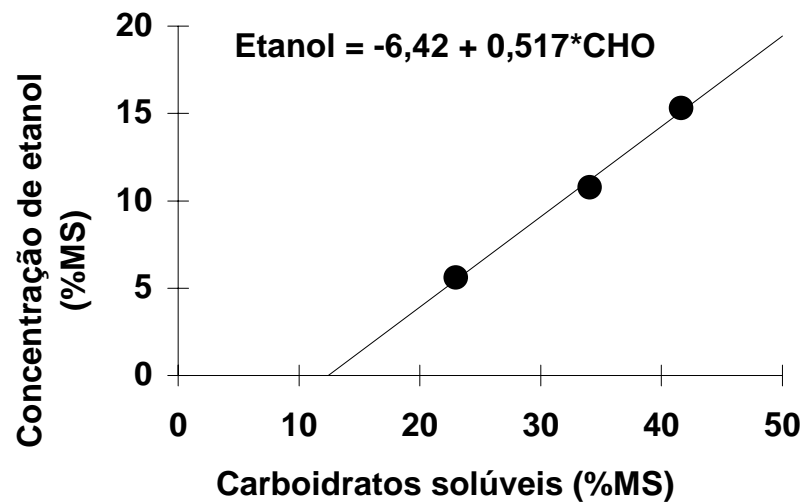


Figura 1 - Relação entre as concentrações de carboidratos solúveis da planta (% da MS) e as concentrações de etanol na silagem (em % da MS)

Os dados de estabilidade aeróbia das silagens encontram-se na tabela 4. Efeito de linear cerscente ($P < 0,05$) foi observado para as variáveis tempo para alcançar a máxima temperatura e taxa de elevação da temperatura, embora nenhum efeito tenha sido observado sobre o tempo para alcançar a temperatura máxima ou sobre o tempo para elevação da temperatura em 2 °C (Tempo 2°C). De acordo com Muck e Kung Jr. (1997), o aumento nas concentrações de ácido acético contribui para melhorar a estabilidade aeróbia após a abertura do silo. No presente estudo observou-se que houve esse aumento nas concentrações de ácido acético, porém não é possível afirmar que isso resultou em melhoria da estabilidade aeróbia da silagem.

Não foi possível demonstrar, no presente experimento, que os teores de carboidratos solúveis alteram a estabilidade aeróbia da silagem.

Tabela 4 – Estabilidade aeróbia das silagens

Table 4 – Aerobic stability of silages

Variável <i>Variable</i>	Tratamento <i>Treatment</i>			Média <i>Mean</i>	CV <i>CV</i>	Probabilidade <i>Probability</i>		Equação <i>Equation</i>	R ²
	0% água <i>100% water</i>	50% água <i>50% water</i>	100% água <i>100% water</i>			Linear <i>Linear</i>	Desvio <i>Deviation</i>		
Tempo (h) <i>Period (h)</i>	95,25	159,75	189,25	148,08	30,32	0,0001	0,1922	Y = 101,083 + 0,940x	0,8333
Máx (°C) <i>Max (°C)</i>	31,11	32,69	36,46	33,42	30,32	0,0001	0,1922	Y = 30,75 + 0,053x	0,8333
Taxa (°C/h) <i>Rate (°C/h)</i>	0,10	0,06	0,07	0,08	43,32	0,1987	0,2717	--	--
Tempo 2°C (h) <i>Period 2°C (h)</i>	15,75	15,75	16,50	16,00	3,76	0,0750	0,2752	--	--

Tempo: tempo decorrido para alcançar a máxima temperatura (horas); Máx.: máxima temperatura alcançada (°C); Taxa: taxa de elevação da temperatura (°C/hora); Tempo 2°C (h): tempo para elevação da temperatura em 2°C; CV: coeficiente de variação (%); Linear: probabilidade para efeito linear; Desvio: probabilidade para efeito de desvio da linearidade.

Period: period of time to reach maximum temperature (hours); Max.: maximum temperature (°C); Rate: rate to increase temperature (°C/hour); Period 2°C (h): period of time to increase temperature in 2°C; CV: coefficient of variation (%); Linear: probability for linear effect; Deviation: probability for linearity deviation effect.

4 CONCLUSÕES

As concentrações maiores de carboidratos solúveis são detrimenais para a produção de etanol na silagem de cana-de-açúcar. A concentração de carboidratos solúveis na planta que anularia a produção de etanol na silagem é igual a 12,4% da MS.

REFERÊNCIAS

ALCÂNTARA, E.; AGUILERA, A.; ELLIOTT, R.; SHIMADA, A. Fermentation and utilization by lambs of sugarcane harvest fresh and ensiled with and without NaOH: 4. Ruminant kinetics. **Animal Feed Science and Technology**, v. 23, n. 4, p. 323-331, 1989.

ALLI, I.; BAKER, B. E.; GARCIA, G. Studies of the fermentation of chopped sugarcane. **Animal Feed Science and Technology**, v. 7, n. 4, p. 411-417, 1982.

ALLI, I.; FAIRBAIRN, R.; BAKER, B. E.; GARCIA, G. The effects of ammonia on the fermentation of chopped sugarcane. **Animal Feed Science and Technology**, v. 9, n. 4, p. 291-299, 1983.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis**. 10. ed. Washington: A.O.A.C., 1980.

BERNARDES, T. F.; SILVEIRA, R. N.; COAN, R. M.; REIS, R. R.; MOREIRA, A. L.; SCHOCKEN-ITURRINO, R. P. Características fermentativas e presença de levedura na cana-de-açúcar crua ou queimada ensilada com aditivo (compact disc) In: REUNIÃO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 39., 2002. Recife. **Anais...** Recife: SBZ, 2002.

CHAMBERLAIN, D. G. The silage fermentation in relation to the utilization of nutrients in the rumen. **Process Biochemistry**, v. 4, n. 1, p. 60-63, 1987.

COAN, R. M.; VIEIRA, P. F.; SILVEIRA, R. N.; REIS, R. A.; MALHEIROS, E. B.; PEDREIRA, M. S. Inoculante enzimático-bacteriano, composição química e parâmetros fermentativos das silagens dos capins Tanzânia e Mombaça. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 34, n. 2, p. 416-424, 2005.

ERWIN, E. S.; MARCO, G. J.; EMERY, E. M. Volatile fatty acid analyses of blood and rumen fluid by gas chromatography. **Journal of Dairy Science**, v. 44, n. 9, p. 1768-1771, 1961.

FOLDAGER, J. **Protein requirement and non protein nitrogen for high producing cow in early lactation**. 1977. Ph D. tesis. Michigan State University, Michigan, 1977.

FREITAS, A. W. P.; PEREIRA, J. C.; ROCHA, F. C.; DETMANN, E.; RIBEIRO, M. D.; COSTA, M. G.; LEONEL, F. P. Características da silagem de cana-de-açúcar tratada com inoculante bacteriano e hidróxido de sódio e acrescida de resíduo da colheita de soja. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 35, n. 1, p. 48-59, 2006.

HENDRIX, D. L. Rapid extraction and analysis of nonstructural carbohydrates in plant tissues. **Crop Science**, v. 33, n. 6, p. 1306-1311, 1993.

JOHNSON, R. R.; BALWANI, T. L.; JOHNSON, L. J.; McCLURE, K. E.; DEHORITY, B. A. Corn plant maturity. Effect on in vitro cellulose digestibility and soluble carbohydrate content. **Journal of Animal Science**, v. 25, n. 2, p. 617-623, 1966.

KULASEK, G. A micromethod for determination of urea in plasma, whole blood and blood cells using urease and phenol reagent. **Polish Archiwun Weterynaryjne**, v. 15, n. 4, p. 801-810, 1972.

LAMMERS, B. P.; BUCKMASSTER, D. R.; HEINRICHS, E. J. A simple method for the analysis of particle sizes of forages and total mixed rations. **Journal of Dairy Science**, v. 79, n. 5, p. 922-928, 1996.

McDONALD, P.; HENDERSON, A. R.; HERON, S. J. E. **The biochemistry of silage**. Marlow: Chalcombe Publications, 1991. 226 p.

MUCK, R.E.; KUNG JR., L. Effects of silage additives on ensiling. In: SILAGE: FIELD TO FEEDBUNK NORTH AMERICA CONFERENCE, 1997, Hershey. **Proceedings...** Hershey: NRAES, 1997. p. 187-199.

PEDROSO, A. F. **Aditivos químicos e microbianos no controle de perdas e na qualidade de silagem de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.)**. 2003. 120 p. Dissertação (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2003.

PEDROSO, A. F.; NUSSIO, L. G.; PAZIANI, S. F.; SANTANA, D. R.; SCOTON, I. M.; MICHELINI, C. R.; PACKER, I. H.; HORII, J.; GOMES, L. H. Fermentation and epiphytic microflora dynamics in sugarcane silage. **Scientia Agricola**, v. 62, n. 5, p. 427-432, 2005.

PEREIRA, J. R. A.; ROSSI JR., P. **Manual prático de avaliação nutricional de alimentos**. 1.ed. Piracicaba: FEALQ, 1995. 25 p.

RANJIT, N. K.; KUNG JR., L. The effects of *Lactobacillus buchneri*, *Lactobacillus plantarum*, or a chemical preservative on the fermentation and aerobic stability of corn silage. **Journal of Dairy Science**, v. 83, n. 3, p. 526-535, 2000.

RODRIGUES, P. H. M.; ALMEIDA, L. F. S.; LUCCI, C. S.; MELOTTI, L.; LIMA, F. R. Efeito da adição de inoculantes microbianos sobre o perfil fermentativo da silagem de alfafa adicionada de polpa cítrica. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 33, n. 6, p. 1646-1653, 2004.

RUPPEL, K. A.; PITT, R. E.; CHASE, L. E.; GALTON, D. M. Bunker silo management and its relationship to forage preservation on dairy farms. **Journal of Dairy Science**, v. 78, n. 1, p. 141-153, 1995.

SCHEFFER DE ROJAS, S. M. **Efeitos de aditivos e do momento de vedação na qualidade da silagem de milho em condições de laboratório**. 1976. 83 p. Tese (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1976.

SILVEIRA, A. C. Produção e utilização de silagens. In: SEMANA DE ZOOTECNIA, 12., 1987, Pirassununga. **Anais...** Pirassununga: Fundação Cargill, 1987. p. 119-134.

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM – SAS. **SAS User's guide: Statistics**. 7. ed. Cary: 1998.

TILLEY, J. M. A.; TERRY, R. A. A two-stage technique for the *in vitro* digestion of forage crops. **Journal of British Grassland Society**, v. 18, n. 2, p. 104-11, 1963.

VAN SOEST, P. J.; ROBERTSON, J. B. **Analysis of forages and fibrous foods**. 3 ed. Ithaca: Cornell University, 1985. 202 p.

VAN SOEST, P. J.; ROBERTSON, J. B.; LEWIS, B. A. Symposium: Carbohydrate methodology, metabolism, and nutritional implications in dairy cattle. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. **Journal of Dairy Science**, v. 74, n. 1, p. 3583-3597, 1991.

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

VILELA, D. Utilização do capim-Elefante na forma de forragem conservada. In: SIMPÓSIO SOBRE CAPIM-ELEFANTE, 1990, Coronel Pacheco. **Anais...** Coronel Pacheco: EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Leite, 1990. p. 89-131.

VILELA, D. Aditivos para silagem. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 35., 1998, Botucatu. **Anais...** Botucatu: SBZ, 1998. p. 73-108.

WOOLFORD, M. K. **The Silage Fermentation**, Marcel Dekker Inc., New York, 1984. v. 14, 350 p.

CAPÍTULO V

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar dos teores de etanol não se apresentarem diferentes estatisticamente, os valores obtidos nos três tempos de aeração, a que a silagem de cana-de-açúcar foi submetida, são considerados elevados. O maior tempo de aeração diminuiu a fermentação ácida, sem alterar a fermentação alcoólica.

As altas concentrações de carboidratos solúveis são condições que propiciam alta produção de etanol na silagem de cana-de-açúcar. Ao diminuir os teores de carboidratos solúveis houve aumento da fermentação ácida e diminuição da fermentação alcoólica.

As práticas de manejo utilizadas no presente trabalho possuem pouca perspectiva para a melhoria da qualidade fermentativa das silagens de cana-de-açúcar.