

Efeitos da aeração sobre as características da silagem de cana-de-açúcar

Estela Jorge Alves da Silva¹, Laura Maria Oliveira Borgatti^{1*}, Paula Marques Meyer² e Paulo Henrique Mazza Rodrigues¹

¹Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade de São Paulo, Av. Prof. Dr. Orlando Marques de Paiva, 87, 05508-270, Cidade Universitária, São Paulo, São Paulo, Brasil. ²Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Pirassununga, São Paulo, Brasil. *Autor para correspondência. E-mail: borgatti791@hotmail.com

RESUMO. No presente estudo, objetivou-se avaliar os efeitos do tempo de aeração sobre as características nutricionais e fermentativas da silagem de cana-de-açúcar. Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado com três tratamentos e quatro repetições. A cana-de-açúcar recém-picada foi exposta à aeração por 0, 4 ou 8 horas, sendo ensilada somente após cada tempo de espera. Após a exposição, o material foi ensilado em 12 silos experimentais confeccionados de baldes plásticos. A abertura dos silos ocorreu 85 dias após a ensilagem. 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 e 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. Para 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. 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.

ABSTRACT. Effects of aeration on characteristics of sugarcane silage. This trial aimed at evaluating the deleterious effects of aeration time on nutritive value and other fermentative characteristics of sugarcane silage. 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. After exposure, the material was ensiled in 12 laboratory silos (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. A 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. 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 a 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), regardless of aeration time. Aerobic stability of silage worsened with the increase in aeration time.

Key words: ensiling, fermentation, forage, oxygenation, nutritive value.

Introdução

A cana-de-açúcar possui grande potencial como recurso forrageiro nas épocas de seca, pela grande quantidade de matéria seca e energia, produzidas por área (BALIEIRO NETO et al., 2007). Muitos pecuaristas utilizam a cana fresca, pelo 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 pelas 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 et al., 1982). A fermentação alcoólica é favorecida pela grande quantidade de carboidratos solúvel presente na cana-de-açúcar, que servem como substrato para as

leveduras, que convertem esses açúcares em etanol.

Preston et al. (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 et al. (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 tem 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 com boa qualidade.

Pedroso et al. (2005) 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 $5,1 \log \text{ufc g}^{-1}$ 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, junto 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.

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, Estado de São Paulo).

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 et al. (1996). A picagem da planta forrageira foi realizada em três etapas: às 8h, às 12h e às 16h. A ensilagem foi realizada às 16h, portanto a cana picada às 8h sofreu 8h de aeração,

aquela picada às 12h sofreu 4h de aeração e aquela picada às 16h, 0h de aeração. Foram utilizados 12 baldes plásticos (silos) com capacidade de 6 L.

Foi utilizado delineamento inteiramente casualizado com três tratamentos e quatro repetições por tratamento. Os três 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 m^{-3} . 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 seca inicial. Uma vez abertos, as massas retiradas de cada silo foram homogeneizadas, sendo uma parcela separada para determinação de MS a 65 e 105°C, em estufa com circulação forçada de ar, proteína bruta (PB), segundo AOAC (1990), componentes da parede celular (FDN, FDA e Lignina) segundo Van Soest et al. (1991).

Os carboidratos solúveis (CHOs) foram determinados de acordo com a metodologia descrita por Johnson et al. (1966), o amido, segundo Pereira e Rossi Jr. (1995), que modifica 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). Uma fração foi congelada imediatamente para futura contraprova enquanto que outra 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 et al. (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%, sendo o número mínimo de injeções por amostras iguais a dois. A solução-padrão foi injetada a cada dez injeções sucessivas de amostras, tentando-se evitar possíveis distorções das leituras em função da contaminação da coluna.

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 em refrigeração até a determinação do nitrogênio amoniacal (N-NH₃), que foi realizada por colorimetria, segundo método proposto por Kulasek (1972). As leituras em absorbância foram realizadas em espectrofotômetro (marca Beijing Rayleigh AIC modelo VIS-7220) regulado em 630 nm. Os valores de absorbância foram utilizados para calcular as concentrações de nitrogênio amoniacal em mg de N-NH₃ 100 mL⁻¹, 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 em pastagem com 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 com temperatura controlada a 39°C, agitando-se, pelo menos, três a quatro 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 48h. 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 L 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, 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 [Log(X+1)] ou pela raiz quadrada [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.

Resultados e discussão

A composição química, a DIVMS e o poder tampão, da cana-de-açúcar utilizada encontram-se na Tabela 1, e 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 et al. (2005), 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.

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, 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. 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 e gases (McDONALD et al., 1991).

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

	Cana-de-açúcar		
	0h	4h	8h
MS	32,59	34,31	35,15
PB	2,77	2,62	2,73
NIDA	33,13	28,36	33,51
FDA	34,55	34,99	36,02
FDN	55,37	56,72	58,43
Lignina	5,54	5,70	6,28
Amido	0,22	0,33	0,27
CHOs	39,43	37,53	35,50
DIVMS	56,71	55,73	53,77
PT	7,90	7,97	8,11

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⁻¹ MS de forragem).

A DIVMS sofreu redução de 3,5; 5,7 e 12,9% em relação à cana fresca, nos respectivos tempos 0, 4 e 8h, 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 et al. (2005), 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. O mesmo foi observado por Ávila et al. (2008), segundo os autores, em silagens de cana-de-açúcar, aumentos percentuais da fração fibrosa do material ensilado em relação ao material original podem ser observados como resultado de perdas de MS na forma de gases, em razão da fermentação alcoólica por leveduras. Pela 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 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.

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 et al. (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 CHOs solúveis iniciais. Os valores de etanol também estão acima dos relatados por Castrillón et al. (1978), que observaram concentração de etanol de 5,1% em silagem de cana-de-açúcar sem uso de aditivos, e dos observados por Pedroso et al. (2005), 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. As concentrações de ácido acético das silagens avaliadas encontram-se dentro do padrão de ácido acético (1 a 3%) citado como normal por Kung Jr. et al. (2000). Já na classificação considerada por Muck (1987), todos 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 tratamentos, significando que não houve fermentação por *Clostridium*, o que provavelmente foi inibido pelo baixo pH. A baixa produção de ácido butírico, valores próximos a zero, indicam que transformações indesejáveis não ocorreram dentro da massa ensilada (SCHMIDT et al., 2007), exceto pela alta produção de etanol.

Tabela 2. Composição bromatológica das silagens.

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

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⁻¹ MS de forragem); CV: coeficiente de variação (%); Linear: probabilidade para efeito linear; Desvio: probabilidade para efeito do desvio da linearidade.

Tabela 3. Perfil fermentativo das silagens.

Variável	Tratamento			Média	CV	Probabilidade		Equação	R ²
	0h	4h	8h			Linear	Desvio		
Etanol	21,22	22,46	22,93	22,20	7,08	0,1495	0,6955	--	--
Acético	2,80	2,70	1,50	2,33	27,83	0,0001	0,0030	$\hat{Y} = 2,802 + 0,110x - 0,034x^2$	0,9048
Propiônico	0,04	0,02	0,01	0,02	44,86	0,0001	0,2169	$\hat{Y} = 0,043 - 0,034x$	0,8321
Butírico	0,21	0,19	0,16	0,19	17,83	0,0446	0,6739	$\hat{Y} = 0,215 - 0,006x$	0,3946
Lático	3,88	3,33	2,46	3,22	24,54	0,0061	0,6495	$\hat{Y} = 3,932 - 0,176x$	0,5897
Rel Lát:Acé	1,38	1,25	1,64	1,42	21,37	0,2220	0,1519	--	--
Rel Áci:Eta	0,32	0,27	0,18	0,26	26,67	0,0001	0,2451	$\hat{Y} = 0,335 - 0,018x$	0,8189
Rel Lát:Eta	0,18	0,14	0,10	0,14	27,63	0,0040	0,8208	$\hat{Y} = 0,184 - 0,009x$	0,6203
N-NH ₃	12,05	9,53	8,16	9,91	24,27	0,0176	0,6330	$\hat{Y} = 11,863 - 0,486x$	0,4899
pH	3,41	3,45	3,57	3,48	2,42	0,0036	0,2808	$\hat{Y} = 3,399 + 0,019x$	0,6485
Perdas	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.

Para as concentrações de ácido propiônico e ácido lático foi observado efeito linear ($p < 0,05$) com declínio ao longo dos tempos de aeração. O nível de ácido lático observado no tempo 8h foi abaixo de 3% na MS, 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 lático.

Nenhum efeito foi observado na relação ácido lático: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 lático:etanol.

O aumento no tempo de aeração diminuiu linearmente ($p < 0,05$) os valores de nitrogênio amoniacal. Os tempos 4 e 8h apresentaram teores de N-NH₃ satisfatórios já que ficaram abaixo de 12%,

valor que segundo McDonald et al. (1991) é o valor limite abaixo do qual se classificam as silagens de boa qualidade. 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). 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 aumentou o tempo para atingir a temperatura máxima. Embora isso não resultasse em aumento da taxa de elevação de

Tabela 4. Estabilidade aeróbia das silagens.

Variável	Tratamento			Média	CV	Probabilidade		Equação	R ²
	0h	4h	8h			Linear	Desvio		
Tempo (h)	112,75	152,25	205,75	156,91	25,43	0,0001	0,0064	$\hat{Y} = 112,75 + 8,125x + 0,437x^2$	0,9934
Máx (°C)	27,06	32,01	35,08	31,64	14,46	0,0019	0,7621	$\hat{Y} = 27,243 + 1,101x$	0,7851
Taxa (°C/h)	0,04	0,06	0,05	0,05	535,81	0,4690	0,3036	--	--
Tempo 2°C(h)	28,25	18,25	16,00	20,83	27,59	0,0001	0,0035	$\hat{Y} = 28,25 - 3,468x + 0,242^2$	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.

temperatura, resultou em diminuição do tempo necessário para elevação da temperatura em 2°C, ao indicar que a aeração diminuiu a estabilidade aeróbia.

De acordo com Rust et al. (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. Pelo 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.

Conclusão

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.

Agradecimentos

Agradecemos aos técnicos Ari de Castro, Gilson de Godoy e Simi Robassini, pelas análises laboratoriais, e aos funcionários Everson Lázaro e Gilmar Botteon, pela boa vontade e colaboração.

Referências

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

AOAC-Association of Official Analytical Chemists. **Official methods of analysis**. 15. ed. Arlington, 1990.

ÁVILA, C. L. S.; PINTO, J. C.; SUGAWARA, M. S.; SILVA, M. S.; SCHWAN, R. F. Qualidade da silagem de cana-de-açúcar inoculada com uma cepa de *Lactobacillus buchneri*. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 30, n. 3, p. 255-261, 2008.

BALIEIRO NETO, G.; SIQUEIRA, G. R.; REIS, R. A.; NOGUEIRA, J. R.; ROTH, M. T. P.; ROTH, A. P. T. P. Óxido de cálcio como aditivo na ensilagem de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, n. 5, p. 1231-1239, 2007.

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

COAN, R. M.; VIEIRA, P. F.; SILVEIRA, R. N. 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 gas chromatography. **Journal of Dairy Science**, v. 44, n. 9, p. 1768-1771, 1961.

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. **Polskie Archiwum Weterynaryjne**, v. 15, n. 4, p.801-810, 1972.

KUNG JR., L.; ROBINSON, J. R.; RANJIT, N. K.; CHEN, J. H.; GOLD, C. M.; PESEK, J. D. Microbial populations, fermentation en-products, and aerobic stability of corn silage treated with ammonia or a propionic acid-based preservative. **Journal of Dairy Science**, v. 83, n. 7, p. 1479-1486, 2000.

- LAMMERS, B. P.; BUCKMASTER, D. R.; HEINRICH, 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**. 2. ed. Marlow: Chalcombe, 1991.
- 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.; NUSSIO, L. G.; PAZIANI, S. F.; LOURES, D. R. S.; IGARASI, M. S.; COELHO, R. M.; PACKER, I. H.; HORIL, J.; GOMES, L. H. Fermentation and epiphytic microflora dynamics in sugar cane silage. **Scientia Agricola**, v. 62, n. 5, p. 427-432, 2005.
- PEREIRA JR., A.; ROSSI JR., P. **Manual prático de avaliação nutricional de alimentos**. Piracicaba: Fealq, 1990.
- PRESTON, T. R.; HINOJOSA, C.; MARTINEZ, L. Ensiling of sugarcane with ammonia molasses and mineral acids. **Tropical Animal Health and 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, R. 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 on fermentation characteristics and nutritive value of corn silage. **Journal of Production Agriculture**, v. 2, n. 1, p. 235-241, 1989.
- SAS-Statistical Analysis System. **SAS User's guide: statistics**. 7. ed. Cary, 1998.
- SCHMIDT, P.; MARI, L. J.; NUSSIO, L. G.; PEDROSO, A. F.; PAZIANI, S. F.; WECHSLER, F. S. Aditivos químicos e biológicos na ensilagem de cana-de-açúcar. 1. Composição química das silagens, ingestão, digestibilidade e comportamento ingestivo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, n. 5, p. 1666-1675, 2007.
- TILLEY, J. M. A.; TERRY, R. A. A two-stage technique for the *in vitro* digestion of forage crops. **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 of Dairy Science**, v. 74, n. 1, p. 3583-3597, 1991.
- VAN SOEST, P. J.; ROBERTSON, J. B. **Analysis of forages and fibrous foods**. Ithaca: Cornell University, 1985.
- WOOLFORD, M. K. **The silage fermentation**. New York: Marcel Dekker, 1984.

Received on May 14, 2007.

Accepted on March 20, 2008.

License information: This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.