

FRACTIONATION OF DRY MATTER LOSSES OF SUGARCANE SILAGE TREATED WITH ALKALIS OR UREA

FRACCIONAMIENTO DE LAS PÉRDIDAS DE LA MATERIA SECA DEL ENSILAJE DE CAÑA DE AZÚCAR TRATADA CON ALCALINIZANTES O UREA

Laura M. Oliveira-Borgatti¹, José Pavan-Neto¹, Carolina Tobias-Marino^{1*}, Paula Marques-Meyer², P. Henrique Mazza-Rodrigues^{1,3}

¹Department of Animal Nutrition and Production, Faculty of Veterinary Medicine and Animal Science, University of São Paulo. Duque de Caxias Norte Avenue, 225, Zipcode: 13630-900, Pirassununga, São Paulo, Brazil; ²Brazilian Institute of Geography and Statistics.

³CNPq Productivity Research Scholarship. (caroltobias@hotmail.com)

ABSTRACT

Different additives evaluation can contribute for improving quality and yield of silage production. Therefore, the objective of this study was to evaluate the effects of adding alkalis or urea on fractionation losses due to fermentation and on aerobic stability of sugarcane silage. The experimental design was completely randomized with 13 treatments (6x2) +1: 6 additives (1 or 2 %) plus a control group, and four repetitions per treatment. Data were analyzed by polynomial regression analysis using GLM procedure. The tested additives were sodium hydroxide (NaOH), limestone (CaCO₃), urea (CO(NH₂)₂), sodium bicarbonate (NaHCO₃), quicklime (CaO) and hydrated lime (Ca(OH)₂). The material was ensiled in 52 laboratory silos (plastic buckets; 12 L capacity) and silos were opened 60 d after ensilage. Losses were calculated as the difference among weights at the filling and at the opening of the silos, multiplied by their dry matter (DM) content. Fraction losses were obtained by multiplying initial and final DM amounts by their contents of components. The inclusion of all additives in both concentrations diminished DM loss between 27 to 40 %, as compared to control group. Soluble carbohydrates loss was decreased between 7 to 62 % by NaOH, NaHCO₃ and CaCO₃ addition, as compared to control group. Sodium bicarbonate, CaO and Ca(OH)₂ inclusion reduced neutral detergent fiber (NDF) loss between 20.5 to 51 % and diminished acid detergent fiber (ADF) between 39 to 58 %, as compared to control group. The use of NaOH, CaO and Ca(OH)₂ improved aerobic stability of silages.

Key words: additive, aerobic stability, conserved forage, ensilage, *Saccharum officinarum*

RESUMEN

La evaluación de distintos aditivos puede contribuir a mejorar la calidad y el rendimiento de la producción de ensilado. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar los efectos al añadir alcalinizantes o urea en las pérdidas de fraccionamiento por fermentación y en la estabilidad aeróbica del ensilado de caña de azúcar. El diseño experimental fue completamente aleatorio con 13 tratamientos (6x2) +1: 6 aditivos (1 o 2 %) y un grupo testigo, con cuatro repeticiones por tratamiento. Los datos se analizaron con un análisis de regresión no lineal utilizando el procedimiento GLM. Los aditivos a prueba fueron hidróxido de sodio (NaOH), caliza (CaCO₃), urea (CO(NH₂)₂), bicarbonato de sodio (NaHCO₃), cal viva (óxido de calcio, CaO) y cal hidratada (Ca(OH)₂). El material se ensiló en 52 silos de laboratorio (cubetas de plástico; capacidad de 12 L) y los silos se abrieron 60 d después del ensilado. Las pérdidas de fracciones se calcularon como la diferencia en el peso al llenado y al abrir los silos, multiplicada por su contenido de materia seca (MS). La pérdida de fracciones se obtuvo al multiplicar las cantidades inicial y final de MS por los contenidos de componentes. La adición de todos los aditivos en ambas concentraciones disminuyó la pérdida de MS entre 27 a 40 %, en comparación con el grupo testigo. La pérdida de carbohidratos solubles fue reducida entre 7 a 62 % al agregar NaOH, NaHCO₃ y CaCO₃ respecto al grupo testigo. La incorporación de NaHCO₃, CaO y Ca(OH)₂ redujo la pérdida de fibra detergente neutra (FND) entre 20.5 a 51 % y disminuyó la pérdida de fibra detergente ácido (FDA) entre 39 a 58 % en comparación con el grupo testigo.

Palabras clave: aditivo, estabilidad aeróbica, forraje conservado, ensilado, *Saccharum officinarum*.

* Author for correspondence ♦ Autor responsable.

Received: August, 2014. Approved: April, 2015.

Published as ARTICLE in *Agrociencia* 49: 411-422. 2015.

INTRODUCTION

Sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) is used to replace roughage as a feed source for livestock during the dry season and it is increasing in Brazil due to the high yield and energy per area. Although it is an excellent alternative to decrease operational work, the process of sugarcane ensiling produces alcoholic fermentation, leading to large losses of DM and nutritive value (Cavalli *et al.*, 2010; Pedroso *et al.*, 2011). Ensiled sugarcane has high concentrations of ethanol, due to its soluble carbohydrates content and yeast populations, which convert sugars to ethanol, CO₂ and water, decreasing the content of soluble carbohydrates and increasing the components of cell wall and DM losses, which impair silage quality (Pedroso *et al.*, 2005).

Untreated sugarcane silage has 7.8 to 17.5 % ethanol, which causes up to 29 % DM silage losses (Siqueira *et al.*, 2007). Bacterial inoculants, sodium hydroxide or soybean crop residue were added to sugarcane silage; soybean crop residue improved nutritional quality and reduced DM losses and ethanol production of silages, whereas sodium hydroxide decreased ethanol production, but did not affect nutritional quality neither DM losses (Freitas *et al.*, 2006).

According to Siqueira *et al.* (2007), the association of *Lactobacillus buchneri* with sodium hydroxide reduced losses by gases and effluents and increased the DM recovery. Balieiro Neto *et al.* (2007) applied 0.5, 1 and 2 % of quicklime during ensiling and observed positive correlation with *in vitro* DM digestibility (IVDMD) and improved non-fiber carbohydrate preservation after silo opening by using 1 and 2 % of quicklime.

The use of alkalizing agents in the preservation process has positive effects (Balieiro Neto *et al.*, 2007; Amaral *et al.*, 2009; Borgatti *et al.*, 2012). In untreated silages, the fraction lost is primarily soluble carbohydrates (Mc Donald *et al.*, 1991), but in alkalis-treated silages, solubilization of fiber components produce sugars, which can be converted to volatile compounds (Pedroso *et al.*, 2007, Borgatti *et al.*, 2012). However, this information is not well documented in the literature reviewed, especially for sugarcane silage. Therefore, the aim of this study was to fractionate DM losses during the fermentation process of sugarcane ensiled with different alkalis

INTRODUCCIÓN

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) se usa como fuente de alimento para el ganado para reemplazar la fibra alimenticia durante la temporada de sequía y está aumentando en Brasil debido al alto rendimiento y energía por área. Aunque es una excelente alternativa para disminuir el trabajo operativo, el proceso del ensilaje de caña de azúcar produce fermentación alcohólica, y causa grandes pérdidas de MS y de valor nutricional (Cavalli *et al.*, 2010; Pedroso *et al.*, 2011). La caña de azúcar ensilada tiene concentraciones altas de etanol, debido a su contenido de carbohidratos solubles y poblaciones de levadura, que convierten los azúcares en etanol, CO₂ y agua, disminuyendo el contenido de carbohidratos solubles y aumentando las pérdidas de los componentes de la pared celular y de la MS, lo cual perjudica la calidad del ensilado (Pedroso *et al.*, 2005).

El ensilado de caña de azúcar no tratado tiene 7.8 a 17.5 % de etanol, lo cual causa hasta 29 % de pérdidas de ensilado de MS (Siqueira *et al.*, 2007). Inoculantes bacterianos, hidróxido de sodio y residuos del cultivo de soya se añadieron al ensilado de caña de azúcar; los residuos del cultivo de soya mejoraron la calidad nutricional y redujeron las pérdidas de MS y la producción de etanol de los ensilados, mientras que el hidróxido de sodio disminuyó la producción de etanol, pero no afectó la calidad nutricional ni las pérdidas de MS (Freitas *et al.*, 2006).

Según Siqueira *et al.* (2007), la asociación de *Lactobacillus buchneri* con hidróxido de sodio redujo las pérdidas por gases y efluentes, y aumentó la recuperación de MS. Balieiro Neto *et al.* (2007) aplicaron 0.5, 1 y 2 % de cal viva durante el ensilaje y observaron una correlación positiva con la degradabilidad de la MS *in vitro* (DIVMS), así como una mejor preservación de carbohidratos no fibrosos después de abrir los silos al usar 1 y 2 % de cal viva.

El uso de agentes alcalinizantes en el proceso de preservación tiene efectos positivos (Balieiro Neto *et al.*, 2007; Amaral *et al.*, 2009; Borgatti *et al.*, 2012). En ensilados no tratados, la fracción perdida es principalmente de carbohidratos solubles (Mc Donald *et al.*, 1991), pero en los ensilados tratados con alcalinizantes, la solubilización de componentes de fibra produce azúcares, que pueden convertirse en compuestos volátiles (Pedroso *et al.*, 2007, Borgatti *et al.*, 2012). Sin embargo, esta información no está bien

or urea, as well as to evaluate the aerobic stability of these silages.

MATERIALS AND METHODS

Experimental protocol

The trial was carried out at the Department of Animal Nutrition and Production, Veterinary Medicine and Animal Science Faculty, University of São Paulo (USP; Pirassununga Campus), in September 2007. Sugarcane (34.97 % DM) was chopped (0.95 cm average) when ensiled (Chopper Nogueira, model EM-9F3B). The evaluation of mean theoretical particle size was performed according to the sieves methodology Penn State Particle Size Separator (Lammers *et al.*, 1996).

The experimental design was completely randomized with a factorial arrangement of treatments (6x2) +1: sodium hydroxide (NaOH), limestone (CaCO_3), urea ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$), sodium bicarbonate (NaHCO_3), quicklime (CaO) and hydrated lime ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), in two concentrations (1 or 2 % of fresh matter), plus a control group (0 % additive). The additives were applied and mixed with chopped sugarcane and homogenized.

There were 52 experimental silos in plastic buckets (252 mm high 245 mm, 12 L capacity) (four replicates per treatment). Then, silages (sugarcane plus additives) were placed inside each silo and compacted to a density of 500 kg sugarcane m^{-3} . Silos were sealed with lids, weighed and vertically stored in a covered area at room temperature and opened after 60 d of storage. At opening, silos were weighed to determine DM losses during fermentation as the difference between weights at filling and at opening of silos, multiplied by the DM contents. Losses were transformed in percentage of initial silage; losses of different fractions were obtained by multiplying initial and final DM by the contents of each component.

Nutrient content analysis

Laboratory analyzes were carried out at the Laboratory of Animal Nutrition and Production, Veterinary Medicine and Animal Science Faculty, USP. Silos were opened, homogenized and a sample was taken to analyze: DM (at 55 and 105 °C in a forced-air circulation oven) and crude protein (CP) (AOAC, 1990); neutral (NDF) and acid detergent fiber (ADF) and lignin, according to Van Soest *et al.* (1991); soluble carbohydrates (SC) according to Johnson *et al.* (1996); insoluble N in acid detergent (INAD), according to Van Soest and Robertson (1985). Other sample was frozen for counter-proof and another was placed in hydraulic press for silage juice extraction.

documentada en la literatura revisada, en especial para el ensilado de caña de azúcar. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue fraccionar las pérdidas de MS durante el proceso de fermentación del ensilado de caña de azúcar con distintos alcalinizantes o urea, así como evaluar la estabilidad aeróbica de estos ensilados.

MATERIALES Y MÉTODOS

Protocolo experimental

El estudio se realizó en el Departamento de Nutrición y Producción Animal, en la Facultad de Medicina Veterinaria y Ciencia Animal, Universidad de São Paulo (USP; Campus Pirassununga), en septiembre de 2007. La caña de azúcar (MS 34.97 %) se picó (0.95 cm promedio) para realizar el ensilaje (Tajadera Nogueira, modelo EM-9F3B). La evaluación de la media teórica del tamaño de la partícula se hizo de acuerdo con la metodología de tamiz de *Penn State Particle Size Separator* (Lammers *et al.*, 1996).

El diseño experimental fue completamente aleatorio con un arreglo factorial de tratamientos (6x2) +1: hidróxido de sodio (NaOH), caliza (CaCO_3), urea ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$), bicarbonato de sodio (NaHCO_3), cal viva (óxido de calcio, CaO) y cal hidratada ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), en dos concentraciones (1 o 2 % de materia fresca), y un grupo testigo (0 % aditivo). Los aditivos se aplicaron y se mezclaron con caña de azúcar picada y homogenizada. Hubo 52 silos experimentales en cubetas de plástico (252 mm de alto 245 mm, capacidad de 12 L) (cuatro réplicas por tratamiento). Los ensilados (caña de azúcar más aditivos) se colocaron dentro de cada silo y se compactaron hasta llegar a una densidad de 500 kg caña de azúcar m^{-3} . Los silos se sellaron con tapas, se pesaron y se almacenaron verticalmente en un área cubierta a temperatura ambiente; después de 60 d se abrieron. Al abrir, los silos se pesaron para determinar las pérdidas de MS durante la fermentación como la diferencia entre los pesos al llenado y al abrir los silos, multiplicado por los contenidos de MS. Las pérdidas se transformaron en porcentaje de ensilado inicial; las pérdidas de las fracciones se obtuvieron al multiplicar la MS inicial y final por los contenidos de cada componente.

Análisis del contenido de nutrientes

Los análisis de laboratorio se realizaron en el Laboratorio de Nutrición y Producción Animal, en la Facultad de Medicina Veterinaria y Ciencia Animal, USP. Los silos se abrieron, se homogenizaron y se tomó una muestra para analizar: MS (a 55 y 105 °C en un horno de circulación de aire forzada) y proteína

Aerobic stability

To determine aerobic stability of silage, 2.0 kg samples of fresh mass were taken from each bucket, placed in Styrofoam boxes (12 L capacity) and stored in a controlled temperature (25 °C) room. Silage temperatures were monitored each hour for 7 d, using the Monitoring and Acquiring Data System (SIMAD), with 12 temperature sensors, 2 data acquiring modules, 1 net converter and 1 software for monitoring, acquiring and controlling environmental variables (MACVA version 1.2 from AUTSENS-Industry and Trade Electronic Devices). Maximum temperatures (°C), time to reach the maximum temperature (h) and time to raise the temperature in 2 °C (h) were recorded. Aerobic stability was calculated as the temperature rise rate (°C/h), dividing the maximum temperature by the time to reach it (Ruppel *et al.*, 1995).

Statistical analysis

Normality of residues was verified by Shapiro-Wilk test (UNIVARIATE procedure) and ANOVA was carried out using GLM procedure. In the presence of interaction, effects of doses were separated by polynomial regression analysis, decomposing the effect in linear and linearity deviation. Effect of additive inside doses was separated by Duncan test ($p \leq 0.05$). SAS (2001) was used for all statistical analysis.

The Relative Biological Efficiency (EBR) of each additive in decreasing silage losses calculated by slope ratio (Ammerman *et al.*, 1995), in which the regression curve slope of the response variable for additive levels (0, 1.0 or 2.0 %) was divided by the regression coefficient (slope) of the standard additive (NaOH) with a 100 % EBR. The slope ratio would be used to compare the angular coefficients two by two as to generate the comparison between the EBR of the additives; however, most responses were non-linear and this method was not used. Therefore, polynomial regression analysis was performed ($p \leq 0.05$).

RESULTS AND DISCUSSION

There was a non-linear reduction of DM losses, although urea caused a linear reduction (Table 1). Freitas *et al.* (2006) report that NaOH did not reduce DM losses of sugarcane silage; however, in our study, the lowest DM losses were due to this additive. The addition of 1% NaOH to sugarcane silage decreased gas losses (6.2 %) compared to no additive (13.2 %) (Siqueira *et al.*, 2007) and, according to Amaral *et*

cruda (PC) (AOAC, 1990); fibra detergente neutral (FDN) y ácida (FDA) y lignina, basado en Van Soest *et al.* (1991); carbohidratos solubles en agua (CSA) basado en Johnson *et al.* (1996); N insoluble en detergente ácido (NIAD), basado en Van Soest y Robertson (1985). Otra muestra se congeló como contra prueba y otra se colocó en una prensa hidráulica para la extracción de jugo de ensilado.

Estabilidad aeróbica

Para determinar la estabilidad aeróbica del ensilado, se tomaron muestras de 2.0 kg de masa fresca de cada cubeta, se colocaron en cajas de poliestireno extruido (capacidad de 12 L) y se almacenaron en un cuarto con temperatura controlada (25 °C). Las temperaturas de los ensilados se monitorearon cada hora durante 7 d, utilizando el Sistema de Monitoreo y Adquisición de Datos (SIMAD), con 12 sensores de temperatura, 2 módulos de adquisición de datos, 1 convertidor de red y 1 software para monitorear, adquirir y controlar variables ambientales (MACVA versión 1.2 de AUTSENS – Industry and Trade Electronic Devices). Las temperaturas máximas (°C), el tiempo para alcanzar la temperatura máxima (h) y el tiempo para elevar la temperatura en 2 °C (h) se registraron. La estabilidad aeróbica se calculó como la tasa de aumento de temperatura (°C/h), la cual divide la temperatura máxima entre el tiempo para alcanzarla (Ruppel *et al.*, 1995).

Análisis estadístico

La normalidad de los residuos se verificó con la prueba Shapiro-Wilk (procedimiento UNIVARIADO) y se realizó una ANOVA usando el procedimiento GLM. En presencia de la interacción, los efectos de las dosis se separaron con un análisis de regresión no lineal, descomponiendo el efecto en la desviación lineal y en la linealidad. El efecto de las dosis aditivas internas se separó con la prueba Duncan ($p \leq 0.05$). Para todos los análisis estadísticos, se utilizó SAS (2001).

La Eficiencia Biológica Relativa (EBR) de cada aditivo para reducir las pérdidas de ensilado se calculó con una tasa de pendiente (Ammerman *et al.*, 1995), donde la pendiente de la curva de regresión de la variable de respuesta para los niveles de aditivos (0, 1.0 o 2.0 %) se dividió por el coeficiente de regresión (pendiente) del aditivo estándar (NaOH) con una EBR de 100 %. La tasa de pendiente se usaría para comparar los coeficientes angulares de dos en dos, para generar la comparación entre la EBR de los aditivos; sin embargo, la mayoría de las respuestas fueron no lineales y este método no se utilizó. Por lo tanto, se realizó un análisis de regresión no lineal ($p \leq 0.05$).

Table 1. Dry matter and different fractions losses obtained with the treatments.
Cuadro 1. Materia seca y pérdidas de fracciones diferentes obtenidas con los tratamientos.

Additive	Doses (%)			Probability [‡]			Equation	R ²
	0	1	2	SEM [§]	Linear	Dev.		
				Dry matter (%)				
Sodium hydroxide	33.1	18.7c	12.4c	2.7	0.0001	0.0121	Y=33.1-18.5x+4.07x ²	0.96
Limestone	33.1	19.4c	20.3b	1.9	0.0001	0.0001	Y=33.1-21.1x+7.33x ²	0.97
Urea	33.1	23.8a	20.7b	1.7	0.0001	0.0655	Y=32.1-6.22x	0.80
Sodium bicarbonate	33.1	20.5bc	24.6a	1.7	0.0001	0.0001	Y=33.1-21.0x+8.38x ²	0.92
Quicklime	33.1	20.7abc	23.5a	1.6	0.0001	0.0001	Y=33.1-19.6x+7.58x ²	0.97
Hydrated lime	33.1	22.8ab	25.7a	1.4	0.0001	0.0001	Y=33.1-16.9x+6.57x ²	0.92
SEM [§]	-	0.52	0.95	-	-	-	-	-
Probability	-	0.0134	0.0001	-	-	-	-	-
				Crude protein (%)				
Sodium hydroxide	11.2	17.5	9.8ab	2.0	0.7727	0.1153	-	-
Limestone	11.2	11.4	11.9ab	1.3	0.8521	0.9532	-	-
Urea	11.2	14.4	3.4b	2.7	0.2370	0.2182	-	-
Sodium bicarbonate	11.2	14.3	15.2ab	1.5	0.3061	0.7459	-	-
Quicklime	11.2	6.9	14.9ab	1.6	0.3175	0.0734	-	-
Hydrated lime	11.2	18.5	20.2a	2.5	0.1665	0.6103	-	-
SEM [§]	-	2.46	4.84	-	-	-	-	-
Probability	-	0.0001	0.0001	-	-	-	-	-
				Water soluble carbohydrates (%)				
Sodium hydroxide	80.0	43.0d	17.0e	7.9	0.0001	0.1192	Y=78.2-31.5x	0.96
Limestone	80.0	68.8bc	73.6bc	1.8	0.0621	0.0140	Y=80.0-19.3x+8.03x ²	0.60
Urea	80.0	74.3ab	72.5c	1.6	0.0542	0.5106	-	-
Sodium bicarbonate	80.0	62.8c	60.6d	3.2	0.0042	0.1240	Y=77.5-9.37x	0.55
Quicklime	80.0	78.1a	87.1a	1.6	0.0417	0.0635	Y=78.2+3.53x	0.29
Hydrated lime	80.0	69.7b	79.4b	1.8	0.8322	0.0031	Y=80.0-20.4x+10.0x ²	0.64
SEM [§]	-	2.46	4.84	-	-	-	-	-
Probability	-	0.0001	0.0001	-	-	-	-	-
				Hemicellulose (%)				
Sodium hydroxide	14.2	20.7a	40.5a	4.1	0.0022	0.2089	Y=11.3+13.5x	0.68
Limestone	14.2	12.7ab	16.1bc	1.9	0.7230	0.5835	-	-
Urea	14.2	8.5b	8.1c	1.9	0.2343	0.5243	-	-
Sodium bicarbonate	14.2	4.3b	8.4c	1.5	0.0446	0.0097	Y=14.2-16.7x+6.89x ²	0.66
Quicklime	14.2	5.6b	18.3b	2.0	0.2043	0.0026	Y=14.2-19.2x+10.7x ²	0.73
Hydrated lime	14.2	14.0ab	20.4b	1.4	0.0744	0.2235	-	-
SEM [§]	-	1.62	2.47	-	-	-	-	-
Probability	-	0.0175	0.0001	-	-	-	-	-

[‡]Linear: probability for linear effect; Deviation: probability for linearity deviation effect. Different letters in a column indicate statistical differences (p≤0.05). [§]SEM: standard error of the mean ♦ [‡]Lineal: probabilidad del efecto lineal; Desviación: probabilidad del efecto de desviación de linealidad. Distintas letras en una columna indican diferencias estadísticas (p≤0.05). [§]SEM: error estándar de la media.

al. (2009), gas losses were lower for silages with 1 % of quicklime or limestone (13.5 % lower for limestone, as compared to 0 % additive). Santos *et al.* (2008) report lower gas losses in silages with 1 % of quicklime, as compared to values in our experiment; however, results were similar for control silage (32.1 %) and silage with 1 % limestone (17.2 %). The main reason for DM losses in sugarcane silage

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Hubo una reducción no lineal de las pérdidas de MS, aunque la urea causó una reducción lineal (Cuadro 1). Freitas *et al.* (2006) reportan que NaOH no redujo las pérdidas de MS de ensilado de caña de azúcar, pero, en nuestro estudio las pérdidas menores de MS se debieron a este aditivo. La adición de 1 %

is the biochemical reaction of ethanol production, when DM is catalyzed during yeast fermentation since each glucose molecule fermented releases two molecules of ethanol, two of carbon dioxide and two of water (Rodrigues *et al.*, 2005).

Treatments did not change CP losses (Table 1), which may be due to the fact that sugarcane contains only 3 % CP.

Water soluble carbohydrates (WSC) losses were linearly reduced by NaOH and NaHCO₃, but this reduction was non linear when using CaCO₃ and Ca(OH)₂ (Table 1). Probably, these additives inhibit bacteria growth that uses the sugar present in sugarcane in order to grow. The addition of CaO linearly increased the losses of WSC, but the addition of urea did not change these losses (Table 1).

Urea addition to Tanzania grass silage reduced gas losses at 30 d after ensiling, but there was no effect for 60 d (Oliveira *et al.*, 2009) and, in our experiment, with the 60 day-storage period because urea did not change losses of the DM fractions when compared with control. Schmidt *et al.* (2007) added urea to sugarcane silage and did not observe any effect on soluble carbohydrates content, which may be due to the fact that the carbohydrates in silages with urea were metabolized into more stable products than ethanol, such as other alcohols and aldehydes, not considered in DM losses. The reduction in WSC content is unavoidable during fermentation of silages because they are the substrates for organic acids production, which preserves the silage. Treatment with alkalis agents suggest an inhibitor effect on yeast growth, as treated silages had higher soluble carbohydrates concentration, indicating lower losses of this component, with the exception of quicklime.

In our experiment, sodium hydroxide linearly increased hemicellulose losses, whereas sodium bicarbonate reduced these losses in a curvilinear way (Table 1).

Linearity deviation was observed when quicklime was evaluated and the lowest hemicellulose losses were observed with 1% addition. There was no effect of limestone, urea or hydrated lime on this fraction (Table 1). Hemicellulose losses were calculated as the difference between the initial percentage and that found when the silo was opened; this result could be explained by the partial solubilization and utilization of this fraction by the microorganisms. McDonald *et al.* (1991) point out that the amount of organic acids

de NaOH al ensilado de caña de azúcar disminuyó las pérdidas de gas (6.2 %), comparado con el testigo sin aditivo (13.2 %) (Siqueira *et al.*, 2007), y según Amaral *et al.* (2009) las pérdidas de gas fueron menores para los ensilados con 1 % de cal viva o caliza (13.5 % menores para caliza, comparado con 0 % aditivo). Santos *et al.* (2008) reportaron menores pérdidas de gas en ensilados con 1 % de cal viva, comparado con los valores en nuestro experimento; sin embargo, los resultados fueron similares para el ensilado testigo (32.1 %) y para el ensilado con 1 % caliza (17.2 %). La razón principal para las pérdidas de MS en ensilado de caña de azúcar es la reacción bioquímica de la producción de etanol, cuando la MS se cataliza durante la fermentación por levadura ya que cada molécula de glucosa fermentada libera dos moléculas de etanol, dos de dióxido de carbono y dos de agua (Rodrigues *et al.*, 2005).

Los tratamientos no cambiaron las pérdidas de PC (Cuadro 1), lo cual puede deberse al hecho de que la caña de azúcar contiene solamente 3 % PC.

Las pérdidas de carbohidratos solubles en agua (CSA) se redujeron linealmente con NaOH y NaHCO₃, pero esta reducción fue no lineal al usar CaCO₃ o Ca(OH)₂ (Cuadro 1). Es probable que estos aditivos inhiban el crecimiento de bacterias que usan el azúcar presente en la caña de azúcar para crecer. La adición lineal de CaO aumentó las pérdidas de CSA, pero la adición de urea no cambió estas pérdidas (Cuadro 1).

La adición de urea al ensilado de pasto de Tanzania redujo las pérdidas de gas a los 30 d después del ensilaje, pero no hubo efecto a los 60 d (Oliveira *et al.*, 2009) y, en nuestro experimento, así fue con el almacenaje de 60 d porque la urea no cambió las pérdidas de las fracciones de MS comparado con el testigo. Schmidt *et al.* (2007) añadieron urea al ensilado de caña de azúcar y no observaron efectos en el contenido de carbohidratos solubles, lo cual puede deberse a que los carbohidratos en los ensilados con urea se metabolizaron en productos más estables que el etanol, como pueden ser otros alcoholes y aldehídos, que no se consideran en las pérdidas de MS. La reducción en el contenido de CSA es inevitable durante la fermentación de ensilados porque son sustratos para la producción de ácidos orgánicos, lo cual conserva el ensilado. El tratamiento con agentes alcalinizantes sugiere un efecto inhibitorio sobre el crecimiento de levaduras, ya que los ensilados tratados

produced during silage fermentation is higher than the possible amount to be produced from soluble carbohydrates available in ensiled material; therefore, an extra source of carbohydrates might exist. Probably, hemicellulose is the main carbohydrate hydrolyzed by hemicellulases from bacterial origin of the plant or by the action of alkalis agents. Hemicellulose seems to be the main additional source of substrate for fermentation, which may occur up to 40 % of this fraction utilization (Henderson, 1993), whereas cellulose and lignin remain practically unchanged during ensilage (Morrison, 1993).

Sodium hydroxide and quicklime reduced the cellulose content in a curvilinear way, whereas hydrated lime linearly reduced this fraction (Table 2).

Treatments did not change lignin losses (Table 2), lignin losses were numerically negative and a T test was performed for means equal to zero. This test indicated that the value of lignin losses was not statistically different from zero. Therefore, the negative value observed refers to a technique error and should be considered null.

Regarding NDF losses, linearity deviation was observed with the inclusion of sodium bicarbonate or hydrated lime, and both additives reduced the losses of this fraction when compared with control silage. For ADF losses, linearity deviation was also observed when using sodium hydroxide, limestone or quicklime and there was a decrease, as compared to control silage; besides, hydrated lime linearly decreased ADF losses (Table 2). The ADF losses seem to be mainly related to cellulose losses results, since there was no effect of additives on lignin losses in silages.

According to McDonald *et al.* (1991), NDF losses during ensilage can be relatively high and mainly correspond to the solubilization of hemicellulose fraction. Furthermore, using calcium oxide will change cell wall components and reduce organic soluble fractions disappearance in sugarcane silages (Santos *et al.* (2008).

Aerobic stability results are presented in Table 3. Sodium hydroxide caused a non-linear decrease of maximum temperature, as well as a linear temperature raise rate in 2 °C, indicating that this alkali improved aerobic stability of sugarcane silage. Pedroso (2003) used 0, 1, 2 and 3 % of NaOH, and found that 1 % increased environment temperature (to evaluate aerobic stability) from 65 (control) to 120 h to reach 2 °C.

tuvieron una mayor concentración de carbohidratos solubles, indicando pérdidas menores de este componente, con excepción de la cal viva.

En nuestro experimento, el hidróxido de sodio incrementó linealmente las pérdidas de hemicelulosa, mientras que el bicarbonato de sodio redujo estas pérdidas de manera curvilínea (Cuadro 1).

La desviación de linealidad se observó cuando se evaluó la cal viva y las pérdidas más bajas de hemicelulosa fueron con la adición de 1 %. No hubo efecto con caliza, urea o cal hidratada en esta fracción (Cuadro 1). Las pérdidas de hemicelulosa se calcularon como la diferencia entre el porcentaje inicial y el encontrado al abrir el silo; este resultado puede explicarse por la solubilización y utilización parcial de esta fracción por los microorganismos. McDonald *et al.* (1991) señalan que la cantidad de ácidos orgánicos producidos durante la fermentación del ensilado es mayor que la cantidad posible de producir con los carbohidratos solubles disponibles en el material ensilado; por lo tanto, puede existir una fuente extra de carbohidratos. Es probable que la hemicelulosa sea el carbohidrato principal hidrolizado por las hemicelulasas de origen bacteriano de la planta o por la acción de agentes alcalinizantes. La hemicelulosa parece ser la fuente principal adicional de sustrato para fermentación, que puede ocurrir en hasta 40 % de la utilización de esta fracción (Henderson, 1993), mientras que la celulosa y la lignina permanecen prácticamente sin cambios durante el ensilaje (Morrison, 1993).

El hidróxido de sodio y la cal viva redujeron el contenido de celulosa de manera curvilínea, mientras que la cal hidratada redujo esta fracción linealmente (Cuadro 2).

Los tratamientos no cambiaron las pérdidas de lignina (Cuadro 2); las pérdidas de lignina fueron numéricamente negativas y se realizó una prueba de T para las medias igual a cero. Esta prueba indicó que el valor de las pérdidas de lignina no fue estadísticamente diferente de cero. Por lo tanto, el valor negativo observado se refiere a un error en la técnica y debe considerarse como inválido.

Respecto a las pérdidas de FDN, la desviación de linealidad se observó con la inclusión de bicarbonato de sodio o de cal hidratada, y ambos aditivos redujeron las pérdidas de esta fracción, comparados con el ensilado testigo. Para las pérdidas de FDA, también hubo desviación lineal al usar hidróxido de sodio, caliza o cal viva, y hubo disminución, comparado con el ensilado testigo; además, la cal hidratada disminuyó las

Table 2. Losses of different fractions obtained with treatments.
Cuadro 2. Pérdidas de distintas fracciones obtenidas con los tratamientos.

Additive	Doses (%)			Probability [†]			Equation	R ²
	0	1	2	SEM [‡] Cellulose (%)	Linear	Dev.		
Sodium hydroxide	19.6	8.0	9.8	1.9	0.0112	0.0335	Y=19.6-18.2x+6.66x ²	0.64
Limestone	19.6	15.9	18.6	0.8	0.5955	0.0577	-	-
Urea	19.6	14.6	13.1	1.4	0.0540	0.5170	-	-
Sodium bicarbonate	19.6	10.5	11.7	1.9	0.0700	0.1598	-	-
Quicklime	19.6	8.2	10.0	1.7	0.0031	0.0108	Y=19.6-17.9x+6.59x ²	0.74
Hydrated lime	19.6	14.4	11.9	1.4	0.0181	0.5845	Y=19.1-3.82x	0.47
SEM [‡]	-	1.12	1.02	-	-	-	-	-
Probability	-	0.1417	0.1192	-	-	-	-	-
Lignin (%)								
Sodium hydroxide	4.1	5.7	-10.5	4.5	0.2016	0.3562	-	-
Limestone	4.1	4.0	4.9	2.3	0.8935	0.9226	-	-
Urea	4.1	12.3	12.6	2.7	0.2180	0.4957	-	-
Sodium bicarbonate	4.1	-8.3	0.1	3.5	0.6495	0.1941	-	-
Quicklime	4.1	-12.1	-8.9	3.6	0.1384	0.1975	-	-
Hydrated lime	4.1	-3.4	-5.2	4.3	0.4224	0.7685	-	-
SEM [‡]	-	3.11	3.17	-	-	-	-	-
Probability	-	0.1477	0.1192	-	-	-	-	-
NDF (%)								
Sodium hydroxide	16.1	12.0a	18.2a	1.3	0.4782	0.0543	-	-
Limestone	16.1	13.6a	16.4ab	0.7	0.8724	0.0689	-	-
Urea	16.1	12.3a	11.3c	1.1	0.0916	0.5113	-	-
Sodium bicarbonate	16.1	6.5b	9.3c	1.6	0.0465	0.0309	Y=16.1-15.8x+6.21x ²	0.59
Quicklime	16.1	5.3b	10.9c	1.4	0.0011	0.0001	Y=16.1-19.1x+8.24x ²	0.93
Hydrated lime	16.1	12.5a	13.1bc	0.7	0.0479	0.0865	Y=15.2-1.42x	0.29
SEM [‡]	-	0.93	0.82	-	-	-	-	-
Probability	-	0.0137	0.0020	-	-	-	-	-
ADF (%)								
Sodium hydroxide	17.2	7.7bc	6.74c	1.6	0.0003	0.0258	Y=17.2-13.9x+4.32 x ²	0.81
Limestone	17.2	14.0a	16.5a	0.6	0.6218	0.0355	Y=17.2-5.95x+2.81 x ²	0.41
Urea	17.2	14.2a	13.0ab	0.9	0.0724	0.6438	-	-
Sodium bicarbonate	17.2	7.7bc	9.90bc	1.7	0.0552	0.0710	-	-
Quicklime	17.2	5.1c	7.17c	1.7	0.0001	0.0001	Y=17.2-19.1x+7.05 x ²	0.92
Hydrated lime	17.2	11.7ab	9.33bc	1.1	0.0001	0.1700	Y=16.7-3.94x	0.80
SEM [‡]	-	0.94	0.91	-	-	-	-	-
Probability	-	0.0042	0.0027	-	-	-	-	-

[†]Linear: probability for linear effect; Deviation: probability for linearity deviation effect. Different letters in a column indicate statistical differences (p≤0.05). [‡]SEM: standard error of the mean ♦ [†]Lineal: probabilidad del efecto lineal; Desviación: probabilidad del efecto de desviación de linealidad. Distintas letras en una columna indican diferencias estadísticas (p≤0.05). [‡]SEM: error estándar de la media.

In our study, stability was improved by increasing NaOH from 0 to 2 %. In contrast, Siqueira *et al.* (2005) observed a reduction in stability, probably due to solubilization of cell wall components and an increment in carbohydrates availability, which would improve development of microorganisms. But we did not observe this response as the stability linearly

pérdidas de FDA linealmente (Cuadro 2). Las pérdidas de FDA parecen estar relacionadas principalmente con los resultados de pérdida de celulosa, ya que no hubo efecto de los aditivos en las pérdidas de lignina en los ensilados.

Según McDonald *et al.* (1991), las pérdidas de FDN durante el ensilaje pueden ser relativamente

increased with sodium hydroxide dose, suggesting a better growth of fungus and yeasts.

Both doses of limestone addition changed the maximum temperature of silage but did not affect the time to reach maximum temperature, whereas with 1 % the temperature rise rate was lower and the time to raise the temperature in 2 °C was higher (Table 3).

altas y corresponden principalmente a la solubilización de la fracción de hemicelulosa. Además, utilizar el óxido de calcio cambia los componentes de la pared celular y reduce la desaparición de fracciones orgánicas solubles en los ensilados de caña de azúcar (Santos *et al.*, (2008).

Los resultados de estabilidad aeróbica se presentan en el Cuadro 3. El hidróxido de sodio causó una

Table 3. Aerobic stability of silages.
Cuadro 3. Estabilidad aeróbica de los ensilados.

Additive	Doses (% FM)			Probability [†]			Equation	R ²
	0	1	2	SEM [‡]	Linear	Dev.		
Maximum temperature (°C)								
Sodium hydroxide	31.3	29.9b	24.8c	0.90	0.0001	0.0310	Y=31.3+0.39x-1.83x ²	0.88
Limestone	31.3	31.5b	27.3b	0.73	0.0063	0.0500	Y=31.3+2.46x-2.25x ²	0.66
Urea	31.3	30.7b	32.0a	0.27	0.2414	0.0663	-	-
Sodium bicarbonate	31.3	33.5a	32.2a	0.35	0.1699	0.0113	Y=31.3+3.89x-1.71x ²	0.58
Quicklime	31.3	26.0c	25.4bc	0.87	0.0001	0.0186	Y=31.3-7.60x+2.33x ²	0.84
Hydrated lime	31.3	25.5c	25.4bc	0.85	0.0001	0.0001	Y=31.3-8.79x+2.93x ²	0.96
SEM [‡]	-	0.63	0.68	-	-	-	-	-
Probability	-	0.0001	0.0001	-	-	-	-	-
Time to reach the maximum temperature (h)								
Sodium hydroxide	139.4	136.0	118.2	9.3	0.4034	0.7384	-	-
Limestone	139.4	86.2	148.5	11.9	0.7045	0.0188	Y=139.4-110.8x+57.7x ²	0.48
Urea	139.4	107.0	125.2	7.2	0.4098	0.1073	-	-
Sodium bicarbonate	139.4	106.8	135.6	7.06	0.8076	0.0415	Y=139.4-63.4x+30.6x ²	0.39
Quicklime	139.4	112.1	99.4	7.96	0.0401	0.6280	Y=137.0-20.0x	0.38
Hydrated lime	139.4	93.4	128.2	9.52	0.5958	0.0464	Y=139.4-86.4x+40.4x ²	0.38
SEM [‡]	-	6.84	6.46	-	-	-	-	-
Probability	-	0.4072	0.3808	-	-	-	-	-
Temperature rise rate (°C h ⁻¹)								
Sodium hydroxide	0.060	0.053cd	0.023b	0.006	0.0019	0.1679	Y=0.06-0.019x	0.62
Limestone	0.060	0.090ab	0.030b	0.0101	0.1281	0.0289	Y=0.06+0.075x-0.045x ²	0.55
Urea	0.060	0.063bc	0.073a	0.0031	0.1037	0.6664	-	-
Sodium Bicarbonate	0.060	0.105a	0.075a	0.0066	0.1461	0.0013	Y=0.06+0.082x-0.038x ²	0.72
Quicklime	0.060	0.023e	0.028b	0.0058	0.0014	0.0140	Y=0.06-0.057x+0.020x ²	0.80
Hydrated lime	0.060	0.033de	0.028b	0.0049	0.0007	0.0750	Y=0.06-0.016x	0.66
SEM [‡]	-	0.0073	0.0051	-	-	-	-	-
Probability	-	0.0001	0.0001	-	-	-	-	-
Time to raise the temperature in 2 °C (h)								
Sodium Hydroxide	30.4	53.1	104.2a	15.4	0.0541	0.6352	Y=25.6+36.9x	0.35
Limestone	30.4	35.1	65.9ab	8.6	0.1022	0.4615	-	-
Urea	30.4	28.1	29.6b	3.8	0.9427	0.8357	-	-
Sodium Bicarbonate	30.4	27.2	30.6b	3.5	0.9795	0.7016	-	-
Quicklime	30.4	49.0	47.8ab	7.7	0.4012	0.5750	-	-
Hydrated lime	30.4	33.2	49.5ab	5.1	0.1447	0.5351	-	-
SEM [‡]	-	4.10	8.59	-	-	-	-	-
Probability	-	0.3333	0.0997	-	-	-	-	-

[†]Linear: probability for linear effect; Deviation: probability for linearity deviation effect. Different letters in a column indicate statistical differences (p≤0.05). [‡]SEM: standard error of the mean ♦ [†]Lineal: probabilidad del efecto lineal; Desviación: probabilidad del efecto de desviación de linealidad. Distintas letras en una columna indican diferencias estadísticas (p≤0.05). [‡]SEM: error estándar de la media.

There was linearity deviation for maximum temperature, time to reach maximum temperature and for temperature rise rate, when using sodium bicarbonate; however, the time to raise the temperature in 2 °C did not change (Table 3). There was a non-linear increase of the temperature rise rate for both doses of NaHCO₃, indicating that the aerobic stability of the silages was impaired.

The addition of quicklime caused a linear deviation for maximum temperature and temperature rise rate, but a linear decrease for the time to reach the maximum temperature (Table 3); therefore, aerobic stability of silages was improved. Balieiro Neto *et al.* (2009) observed that 0.5 % of CaO increased aerobic stability of sugarcane silage through an increase in the number of days needed for rising the silage temperature in 2 °C. According to Rezende *et al.* (2011), sugarcane silage with 0.5 % of CaO reached first 2 °C above the environmental temperature after 4 d of aerobic exposure, as compared to 0, 1 and 1.5 %; these authors point out that such silage might have more residual carbohydrates, thus promoting a favorable environment for development of deteriorating microorganisms.

There was linear deviation for maximum temperature and time to reach the maximum temperature, when the additive tested was hydrated lime (Table 3). The temperature rise rate linearly decreased, indicating that this additive improved the aerobic stability of the silages.

CONCLUSION

Sodium hydroxide, limestone, sodium bicarbonate and quicklime reduced dry matter losses by the decrease in soluble carbohydrates losses, which can further reduce hemicellulose or cellulose losses or both. Therefore, these additives improved silage aerobic stability and the better effect was brought about by sodium hydroxide.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors thank Everson J. Lázaro and Gilmar E. Botteon for the care with the culture and also the technicians Ari Luiz de Castro, Gilson L. A. Godoy and Simi L. D. Aflalo for the assistance with laboratory analysis. Also, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) for research funding.

disminución no lineal de la temperatura máxima, así como un aumento en la tasa lineal de temperatura de 2 °C, indicando que este alcalinizante mejoró la estabilidad aeróbica del ensilado de caña de azúcar. Pedroso (2003) utilizó 0, 1, 2 y 3 % de NaOH, y encontró que 1 % aumentó la temperatura ambiental (para evaluar la estabilidad aeróbica) de 65 (testigo) hasta 120 h para alcanzar 2 °C.

En nuestro estudio, la estabilidad mejoró al aumentar NaOH de 0 a 2 %. En contraste, Siqueira *et al.* (2005) observaron una reducción en la estabilidad, probablemente debida a la solubilización de los componentes de la pared celular y a un aumento en la disponibilidad de los carbohidratos, lo cual mejoraría el desarrollo de los microorganismos. Sin embargo, no observamos esta respuesta conforme la estabilidad aumentó linealmente con la dosis de hidróxido de sodio, sugiriendo un mejor crecimiento de hongos y levaduras.

Ambas dosis de adición de caliza cambiaron la temperatura máxima de ensilaje pero no afectaron el tiempo que tomó alcanzar la temperatura máxima, mientras que con la tasa de aumento de temperatura de 1 % fue menos y el tiempo para elevar la temperatura en 2 °C fue mayor (Cuadro 3).

Hubo desviación de la linealidad para la temperatura máxima, el tiempo para alcanzar la temperatura máxima y para la tasa de elevación de la temperatura, cuando se utilizó el bicarbonato de sodio; no obstante, el tiempo para elevar la temperatura en 2 °C no cambió (Cuadro 3). Hubo un aumento no lineal del aumento en la temperatura para ambas dosis de NaHCO₃, indicando que la estabilidad aeróbica de los ensilados estaba disminuida.

La adición de cal viva causó una desviación lineal para la temperatura máxima y la tasa de elevación de la temperatura, pero una disminución lineal para el tiempo que toma llegar a la temperatura máxima (Cuadro 3); por lo tanto, la estabilidad aeróbica de los ensilados mejoró. Según Balieiro Neto *et al.* (2009), 0.5 % de CaO aumentó la estabilidad aeróbica del ensilado de caña de azúcar a través de un aumento en el número de días necesarios para elevar la temperatura del ensilaje en 2 °C. El ensilado de caña de azúcar con 0.5 % de CaO alcanzó antes los 2 °C arriba de la temperatura ambiental después de 4 d de exposición aeróbica, comparado con 0, 1 y 1.5 %; estos autores señalan que este ensilado puede tener

LITERATURE CITED

- Amaral, R. C., A. V. Pires, I. Susin, L. G. Nussio, C. Q. Mendes, e A. L. Gastaldello Júnior. 2009. Cana-de-açúcar ensilada com ou sem aditivos químicos: fermentação e composição química. *Rev. Bras. Zootec.* 38:1413-1421.
- Ammerman, C. B., D. H. Baker, A. J. Lewis. 1995. Bioavailability of Nutrients for Animal: Amino Acids, Mineral and Vitamins. San Diego: Academic Press. 441 p.
- A.O.A.C. (Association of Official Analytical Chemists). 1990. Official Methods of the Association of the Agricultural Chemists. (15 Ed.) Arlington. 1298 p.
- Balieiro Neto, G., G. R. Siqueira, R. A. Reis, J. R. Nogueira, M. T. P. Roth, e A. P. T. P. Roth. 2007. Óxido de cálcio como aditivo na ensilagem de cana-de-açúcar. *Res. Bras. Zootec.* 36:1231-1239.
- Balieiro Neto, G., G. R. Siqueira, J. R. Nogueira, R. A. Reis, A. P. T. P. Roth, e M. T. P. Roth. 2009. Perdas fermentativas e estabilidade aeróbia de silagens de cana-de-açúcar aditivadas com cal virgem. *Rev. Bras. Saúde Prod. Ani.* 10:24-33.
- Borgatti, L. M. O., J. P. Neto, A. L. V. Conrado, C. T. Marino, P. M. Meyer, and P. H. M. Rodrigues. 2012. Evaluation of relative biological efficiency of additives in sugarcane ensiling. *Rev. Bras. Zootec.* 41:835-845.
- Cavali, J., O. G. Pereira, S. de C. Valadares Filho, M. O. Porto, F. E. Paiva, and G. Rasmo. 2010. Mixed sugarcane and elephant grass silages with or without bacterial inoculant. *Rev. Bras. Zootec.* 39:462-470.
- Freitas, A. W. P., J. C. Pereira, F. C. Rocha, E. Detmann, M. D. Ribeiro, M. G. Costa, e F. P. Leonel. 2006. Características da silagem de cana-de-açúcar tratada com inoculante bacteriano e hidróxido de sódio e acrescida de resíduo da colheita de soja. *Rev. Bras. Zootec.* 35:48-59.
- Henderson, N. 1993. Silage additives. *Anim. Feed Sci. Technol.* 45:35-56.
- Johnson, R. R., T. L. Balwani, L. J. Johnson, K. E. McClure, and B. A. Dehority. 1996. Corn plant maturity. II Effect on in vitro cellulose digestibility and soluble carbohydrate content. *J. Ani. Sci.* 25: 617-623.
- Lammers, B. P., D. R. Buckmaster, and A. J. Heinrichs. 1996. A simplified method for the analysis of particle sizes of forage and total mixed rations. *J. Dairy Sci.* 79: 922-928.
- McDonald, P., A. R. Henderson, and S. J. E. Heron. 1991. The Biochemistry of Silage. 2.ed. Marlow: Chalcomb Publ. 340 p.
- Morrison, W. H., D. E. Akin, D. S. Himmelsbach, and G. R. Gamble. 1993. Investigation of the ester and ether linked phenolic constituents of cell wall types of normal and Brown midrib pearl millet using chemical isolation, microspectrophotometry and ¹³C NMR spectroscopy. *J. Sci. Food Agric.* 63: 329-337.
- Oliveira, H. C., A. J. V. Pires, A. C. Oliveira, A. L. Rocha Neto, U. Matos Neto, G. P. Carvalho, C. M. Veloso, e U. L. C. Oliveira. 2009. Perdas e valor nutritivo da silagem de capim-tanzânia amonizado com uréia. *Arq. Zootec.* 58: 195-202.
- Pedroso, A. F. 2003. Aditivos químicos e microbiano no controle de perdas e na qualidade de silagem de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.). Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP. 120 p.
- más carbohidratos residuales, promoviendo así un ambiente favorable para el desarrollo de los microorganismos de descomposición (Regende *et al.*, 2011).
- Hubo una desviación lineal para la temperatura máxima y el tiempo para alcanzar la temperatura máxima, cuando el aditivo a prueba era cal hidratada (Cuadro 3). La tasa de elevación de la temperatura disminuyó linealmente, indicando que este aditivo mejoró la estabilidad aeróbica de los ensilados.

CONCLUSIONES

El hidróxido de sodio, la caliza, el bicarbonato de sodio y la cal viva redujeron las pérdidas de materia seca al disminuir las pérdidas de carbohidratos solubles, lo cual puede reducir aún más las pérdidas de hemicelulosa o celulosa, o ambas. Por lo tanto, estos aditivos mejoraron la estabilidad aeróbica del ensilado; el mejor efecto fue causado por el hidróxido de sodio.

—End of the English version—

-----*-----

- Pedroso, A. F., L. G. Nussio, S. F. Paziani, D. R. S. Loures, M. S. Igarasi, R. M. Coelho, I. H. Packer, J. Horii, L. H. Gomes. 2005. Fermentation and epiphytic microflora dynamics in sugar cane silage. *Sci. Agric.* 62: 427-432.
- Pedroso, A. F., L. G. Nussio, D. R. S. Loures, T. S. F. Paziani, M. S. Igarasi, R. M. Coelho, J. Horii, e A. A. Rodrigues, 2007. Efeito do tratamento com aditivos químicos e inoculantes bacterianos nas perdas e na qualidade de silagens de cana-de-açúcar. *Rev. Bras. Zootec.* 36: 556-564.
- Pedroso, A. F., A. A. Rodrigues, W. Barioni Junior, P. F. Barbosa, F. A. P. Santos, L. G. Nussio. 2011. Aditivos químicos e inoculante bacteriano na ensilagem de cana-de-açúcar: efeitos sobre a fermentação das silagens e o desempenho de garrotes. *Rev. Bras. Zootec.* 40: 1181-1187.
- Rezende, A. V., C. H. S. Rabelo, F. H. S. Rabelo, D. A. Nogueira, D. C. N. A. Faria Junior, e L. A. Barbosa, 2011. Perdas fermentativas e estabilidade aeróbia de silagem de cana-de-açúcar tratadas com cal virgem e cloreto de sódio. *Rev. Bras. Zootec.* 4: 739-746.
- Rodrigues, P. H. M., L. M. O. Borgatti, R. W. Gomes, R. Passini, e P. M. Meyer, 2005. Efeito da adição de níveis crescentes de polpa cítrica sobre a qualidade fermentativa e o valor nutritivo da silagem de capim-elefante. *Rev. Bras. Zootec.* 34: 1138-1145.
- Ruppel, K. A., R. E. Pitt, L. E. Chase, and D. M. Galton. 1995. Bunker silo management and its relationship to forage preservation on dairy farms. *J. Dairy Sci.* 78: 141-153.

- Santos, M. C., L. G. Nussio, G. B. Mourão, P. Schmidt, L. J. Mari, e J. L. Ribeiro. 2008. Influência da utilização de aditivos químicos no perfil da fermentação, no valor nutritivo e nas perdas de silagens de cana-de-açúcar. *Rev. Bras. Zootec.* 37: 1555-1563.
- Schmidt, P., L. J. Mari, L. G. Nussio, A. F. Pedroso, S. F. Paziani, e F. S. Wechsler. 2007. Aditivos químicos e biológicos na ensilagem de cana-de-açúcar. 1- Composição química das silagens, ingestão, digestibilidade e comportamento ingestivo. *Rev. Bras. Zootec.* 36: 1666-1675.
- Siqueira, G. R., T. B. Fernandes, e R. A. Reis. 2005. Instabilidade aeróbia de silagens: efeitos e possibilidades de prevenção. *In: Volumosos na Produção de Ruminantes*. Jaboticabal: Funep. p: 25-60.
- Siqueira, G. R., R. R. Reis, R. P. Schocken-Iturrino, T. F. Bernardes, A. J. V. Pires, M. T. P. Roth, and A. P. T. P. Roth. 2007. Associação entre aditivos químicos e bacterianos na ensilagem de cana-de-açúcar. *Rev. Bras. Zootec.* 36: 789-798.
- SAS. 2001. *SAS User's Guide*. 8 ed. Cary, NC: SAS Inst., Inc.
- Van Soest, P. J., and J. B. Robertson. 1985. *Analysis of Forages and Fibrous Foods*. Ithaca: Cornell University. 202 p.
- Van Soest, P. J., J. B. Robertson, and B. A. Lewis. 1991. Carbohydrate methodology, metabolism, and nutritional implications in dairy cattle. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74: 3583-3597.