

## CINÉTICA DE FERMENTAÇÃO RUMINAL DA MATÉRIA SECA E DOS CARBOIDRATOS DE SILAGENS DE CANA-DE-AÇÚCAR COM ADITIVOS<sup>1</sup>

WÉDER JÂNSEN BARBOSA ROCHA<sup>2</sup>, VICENTE RIBEIRO ROCHA JÚNIOR<sup>2\*</sup>, SIDNEI TAVARES DOS REIS<sup>2</sup>, MALBER NATHAM NOBRE DE PALMA<sup>2</sup>, LAÍS MATOS OLIVEIRA<sup>2</sup>

**RESUMO** – O presente estudo tem como objetivo avaliar a cinética de fermentação ruminal da matéria seca e dos carboidratos de duas variedades de cana-de-açúcar ensiladas com diferentes aditivos utilizando-se a técnica *in vitro* semiautomática de produção de gás. Foi utilizado um delineamento inteiramente casualizado com esquema fatorial 2x5, sendo duas variedades de cana-de-açúcar (RB 86 7515 e IAC 86 2480) e cinco aditivos (ureia, NaOH, CaO, milho e *L. buchneri*), além dos tratamentos controle, com abertura dos silos aos 60 dias da ensilagem. As leituras de pressão foram realizadas nos tempos 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 15, 19, 24, 30, 36, 48, 72 e 96 h. A pressão originada pela matéria orgânica foi registrada em um transdutor de pressão universal e para o ajuste dos parâmetros cinéticos utilizado o modelo bicompartimental. O maior volume de gases da fração não fibrosa foi na variedade IAC 86 2480, com o aditivo NaOH. Já na fração fibrosa houve diferença apenas entre variedades com o aditivo ureia, sendo a IAC 86 2480 a que apresentou o maior volume. A silagem da cana IAC 86 2480 apresentou os melhores valores para a maioria dos parâmetros cinéticos avaliados. Os melhores resultados para os parâmetros de degradabilidade ruminal foram nas silagens aditivadas com NaOH e CaO.

**Palavras-chave:** Degradabilidade. Produção de gás. Variedades.

## RUMINAL FERMENTATION KINETICS OF DRY MATTER AND CARBOHYDRATES OF THE CANE SUGAR SILAGES WITH ADDITIVES

**ABSTRACT** – The aim of this study was to evaluate the kinetics of ruminal fermentation dry matter and carbohydrates of two varieties of sugar cane ensiled with different additives using a semiautomatic technique *in vitro* gas production. We used a completely randomized design with a factorial 2 x 5, two varieties of cane sugar (RB 86 7515 and IAC 86 2480) and five additives (urea, NaOH, CaO, corn and *L. buchneri*) and without additive treatments, with the opening of the silos being made at 60 days after ensiling. Pressure readings were performed on days 0; 2; 4; 6; 8; 10; 12; 15; 19; 24; 30; 36; 48; 72 and 96 h. The pressure caused by organic matter was recorded in a pressure transducer universal and for adjusting the parameters kinetic model was used bicompartimental. The technique of *in vitro* gas production satisfactorily estimated the volume of gases from silage and sugarcane raw. The higher gas volume fraction of fiber was not in IAC 86 2480, with the additive NaOH. In the fiber fraction only difference between varieties with the additive urea, and the IAC 86 2480 that had the highest volume. The cane silage IAC 86 2480, showed the best values for most of the evaluated kinetic parameters. The best results for the parameters of degradability were in silages with NaOH and CaO.

**Keywords:** Degradability. Gas production. Varieties.

\*Autor para correspondência

<sup>1</sup>Recebido para publicação em 21/05/2013; aceito em 08/12/2014.

Dissertação de Mestrado em Zootecnia do primeiro autor.

<sup>2</sup>Departamento de Ciências Agrárias, UNIMONTES, Caixa Postal 91, 39440-000, Janaúba/MG, [wederjb.rocha@yahoo.com.br](mailto:wederjb.rocha@yahoo.com.br), [viente.rocha@unimontes.br](mailto:viente.rocha@unimontes.br), [sidnei.reis@unimontes.br](mailto:sidnei.reis@unimontes.br), [malbernobre@yahoo.com.br](mailto:malbernobre@yahoo.com.br), [laismatostwo@hotmail.com](mailto:laismatostwo@hotmail.com).

## INTRODUÇÃO

A utilização da cana-de-açúcar na forma de silagem é uma forma de concentrar a mão-de-obra em apenas um período, promover um crescimento mais uniforme da rebrota e aproveitá-la no estágio de melhor valor nutritivo, eliminando as sobras que ficariam no campo pela falta de corte, tornando-se canas bisadas, de baixa qualidade e sujeitas ao acamamento, dificultando a colheita. A prática de ensilagem possibilita ainda a aplicação de tratamentos culturais como a capina, adubações e controle com herbicidas e, ainda, em caso de incêndio acidental, pode-se colher e ensilar toda a cana, evitando-se perdas no campo (LOPES; EVANGELISTA, 2010). No processo de ensilagem, a utilização de aditivos é indispensável. O intuito é reduzir principalmente a produção excessiva de etanol e manter a qualidade do alimento.

A composição química dos alimentos unicamente não permite uma formulação adequada. A avaliação das diferentes frações, assim como a cinética da fermentação ruminal dos alimentos, permite uma formulação com maior precisão. A técnica *in vitro* de produção de gases apresenta potencial em descrever a cinética da fermentação no rúmen, fornecer a taxa e a extensão de degradação das forrageiras, bem como medir produtos da fermentação de partes solúveis e insolúveis de substratos. Essa técnica permite avaliar grande número de substratos por experimento, apresentando alta precisão nas medições, simplicidade no manuseio de equipamentos e baixo custo na implantação e por amostra analisada (MAURÍCIO et al., 1999).

Diante do exposto, o presente estudo objetivou avaliar a cinética de fermentação ruminal da matéria seca e dos carboidratos de duas variedades de cana-de-açúcar ensiladas com diferentes aditivos utilizando-se a técnica *in vitro* semiautomática de produção de gases pelos microorganismos ruminais.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Departamento de Ciências Agrárias da Universidade Estadual de Montes Claros (UNIMONTES), *Campus* de Janauba (MG), localizada a 15°52'38" de Latitude Sul e 43°20'05" de Longitude Oeste, precipitação anual média de 800 mm com temperatura anual média de 28 °C, umidade relativa do ar em torno de 65% e segundo a classificação climática de Köppen o clima predominante na região é o Aw. Foi utilizado um delineamento experimental inteiramente casualizado com esquema fatorial 2x5, sendo duas variedades de cana-de-açúcar (IAC 86 2480 e RB 86 7515) e cinco aditivos (ureia, NaOH, CaO, milho e *Lactobacillus buchneri*) com três repetições. Para cada variedade foi utilizado um tratamento controle, ou seja, a sila-

gem sem aditivo. As variedades de cana IAC 86 2480 e RB 86 7515 utilizadas foram provenientes da fazenda experimental da UNIMONTES em Janauba (MG). Para picagem da forragem foi utilizado ensiladeira mecânica estacionária, procurando-se obter partículas com tamanho médio inferior a 2 cm.

As doses dos aditivos para cada tratamento em relação à matéria verde foram de 1% de ureia, 1,5% NaOH, 2% CaO e 5% milho grão moído. Estas doses foram definidas tomando-se como base os resultados de outros trabalhos científicos que avaliaram os efeitos do uso de aditivos na ensilagem da cana-de-açúcar (BALIEIRO NETO et al., 2007; EVANGELISTA et al., 2009; MORAES et al., 2008; PEDROSO et al., 2007; e SANTOS et al., 2008). Quanto ao inoculante, foi utilizado a cepa NCIMB 40788 do Inoculante comercial silo Max® na dose de  $2,5 \times 10^{10}$  UFC/g de forragem, conforme recomendação do fabricante. Utilizou-se silos experimentais cilíndricos de PVC, com 40 centímetros de comprimento e 10 centímetros de diâmetro. No fundo dos silos foram colocados 10 cm de areia seca, separada da forragem por uma tela de sombrite. Após a completa homogeneização dos aditivos, a forragem picada foi depositada nos silos e compactada com auxílio de um êmbolo de madeira. Para cada variedade, aproximadamente 3 kg, foram amostrados como forragem fresca. As amostras foram acondicionadas em saco plástico, identificadas e congeladas para análises da forragem original. Após o enchimento, os silos foram fechados com tampas de PVC dotados de válvula tipo *Bunsen*, vedados com fita adesiva e armazenados nas dependências do Laboratório de Análises de Alimentos da UNIMONTES, mantidos em temperatura ambiente com a abertura sendo feita aos 60 dias após a ensilagem.

Ao se retirar a silagem de cada silo procedeu-se a homogeneização do material e parte da silagem foi pré-secada em estufa de ventilação forçada a 55 °C até peso constante. Na sequência, a silagem pré-secada foi moída em moinho Tipo Wiley em peneira de 1 mm e armazenada em potes plásticos devidamente identificados. As amostras das silagens, com e sem aditivos, foram analisadas quanto aos teores de matéria seca, proteína bruta, cinzas, fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA) pelo método sequencial e lignina, de acordo com as metodologias descritas por Silva e Queiroz (2006), e quanto aos carboidratos não fibrosos conforme Sniffen et al. (1992) (Tabela 1).

Para a avaliação da produção de gases foi utilizada a técnica *in vitro* semiautomática de produção de gases, de acordo com Maurício et al. (1999). A pesagem foi realizada em balança digital de precisão, pesando-se 1g da amostra em duplicata, com 12 réplicas, e depositada em frascos de 160 ml injetados constantemente com CO<sub>2</sub> e fechados. A cada 28 frascos com amostra foram utilizados 3 controles (apenas líquido ruminal e o meio de cultura). O meio utilizado foi o "tampão de McDou-

gal” (McDOUGAL, 1949; MAURÍCIO et al., 2001). Depois de preparada, a solução tampão foi colocada em banho-maria e adicionada. Para cada litro de tampão foi preparada momentos antes uma solução redutora. A solução foi borbulhada com CO<sub>2</sub> para atingir pH entre 6,8 – 6,9. Após o preparo, a mesma

ficou em repouso por aproximadamente 4 horas. Em seguida, foi adicionado 90 ml da solução nos frascos injetando constantemente CO<sub>2</sub>. Na sequência, conduzidos à geladeira e mantidos a 4 °C. No dia seguinte, 5 horas antes da inoculação, seguiam-se com as bandejas contendo os frascos para estufa a 39 °C.

**Tabela 1.** Composição química em porcentagem da matéria seca das silagens de duas variedades de cana-de-açúcar com diferentes aditivos e das silagens sem aditivos (controle).

Aditivos	MS	PB	Cinzas	CNF	FDN	FDA	Lignina
IAC 86 2480							
Ureia	24,05	17,06	4,33	32,02	44,90	27,13	6,51
NaOH	28,58	2,56	9,74	51,89	33,97	24,12	4,48
CaO	27,26	2,72	12,30	42,59	40,50	23,96	4,40
Milho grão moído	28,28	4,12	4,53	38,72	50,77	24,03	4,55
<i>L. buchneri</i>	22,95	3,99	4,21	41,23	48,89	29,21	6,50
Controle	23,55	3,15	4,26	40,64	50,19	30,35	6,42
RB 86 7515							
Ureia	22,79	17,07	4,77	18,33	57,89	36,63	6,44
NaOH	28,92	2,88	8,30	54,59	32,20	24,90	4,29
CaO	28,21	2,51	11,16	42,04	42,50	25,99	5,37
Milho grão moído	25,08	3,62	4,35	30,57	59,47	30,18	6,41
<i>L. buchneri</i>	22,09	3,12	5,20	28,98	60,73	36,48	6,77
Controle	20,94	2,73	4,84	30,50	60,08	35,69	6,50

MS = matéria seca; PB = proteína bruta; CNF = carboidratos não fibrosos; FDN = fibra em detergente neutro; FDA = fibra em detergente ácido.

A coleta do líquido ruminal (inóculo) foi realizada em dois bovinos machos providos de cânula ruminal permanente, alimentados com dietas formuladas com cana-de-açúcar picada, fubá de milho e farelo de soja, sendo também suplementados com minerais de forma a proporcionar condições necessárias ao funcionamento normal do rúmen, previamente adaptados por um período de 12 dias. A coleta foi realizada manualmente no saco ventral do rúmen, sendo coletado aproximadamente 1,5 litros em cada animal e acondicionados em uma garrafa térmica previamente aquecida com água a 39 °C. No laboratório foram infundidos com CO<sub>2</sub>, seguindo-se a filtração em dupla camada de gaze mantidas em banho-maria a 39 °C.

Com o auxílio de seringas plásticas inoculou-se 10 mL em cada frasco sob aspersão contínua de CO<sub>2</sub>. Os frascos foram vedados com rolhas de borracha e novamente acondicionados na estufa. Nos frascos controle adicionou-se somente meio de cultura e inóculo. A pressão originada pela fermentação da matéria orgânica foi registrada com um transdutor de pressão *datalogger* universal, modelo LOGGER AG 100, equipamento de bancada, dotado de entradas analógicas, onde foi conectado o manípulo com agulha de 0,7 mm fixada em sua ponta, o qual possui um botão para registro de leituras. A pressão foi obtida nos tempos 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 15, 19, 24, 30, 36, 48, 72 e 96 h. A partir da inserção da agulha na rolha de borracha a pressão produzida no interior dos frascos foi verificada no leitor digital. Feito a leitura da pressão, a obtenção do volume de gases foi realizada puxando-se o êmbolo da seringa até que a pres-

são do transdutor de pressão retornasse ao valor zero e feita apenas nos tempos 0, 6, 12, 24, 48 e 96 horas.

Para cada tempo de leitura o volume de gás dos frascos com amostra foi subtraído do volume obtido nos frascos sem amostras. Ao serem obtidos os valores de pressão e de volume em cada tempo os mesmos foram somados aos valores das leituras anteriores, possibilitando a construção da curva correspondente à fração solúvel e insolúvel para cada tempo de incubação.

A degradabilidade da matéria seca (DMS) foi obtida pela porcentagem de matéria seca (MS) remanescente nos frascos retirados da estufa a 39 °C após 0, 6, 12, 24, 48, 72 e 96 horas de fermentação, por filtração do conteúdo de cada frasco em cadinhos de porosidade 1 e posterior secagem em estufa a 105 °C até se obter peso constante.

As variáveis da cinética dos carboidratos fibrosos (CF) e não fibrosos (CNF) foram estimadas a partir da técnica de produção de gás *in vitro*, no qual foi utilizado o modelo bicompartimental ajustado às curvas de produção cumulativa de gás (SCHOFIELD et al., 1994):

$$V = Vf1 / (1 + \exp(2 - 4 \cdot C1 \cdot (T - L))) + Vf2 / (1 + \exp(2 - 4 \cdot C2 \cdot (T - L))),$$

em que: Vf1 equivale ao volume máximo de gás da fração dos CNF; C1 à taxa de degradação (h<sup>-1</sup>) desta mesma fração (CNF); Vf2 ao volume máximo de gás da fração dos CF; C2 à taxa de degradação (h<sup>-1</sup>) dos CF; e T e L aos tempos de incubação (horas) e à latência (horas), respectivamente.

Para ajustar os dados de degradabilidade às 0, 6, 12, 24, 48, 72 e 96 h foram utilizados os modelos

matemáticos propostos por Mehrez e Ørskov (1977) e Ørskov e McDonald (1979), os quais possibilitaram estimar as degradabilidades potencial (DP) e efetiva (DE):

$$DP = A - \frac{A - B}{1 - e^{-ct}}$$

$$DE = \frac{a + b(1 - e^{-ct})}{1 - e^{-ct}}$$

em que: DP = degradabilidade do alimento (%) no tempo t (horas); A = fração prontamente solúvel (%); a e b = parâmetros do modelo, cuja soma (a+b) corresponde numericamente à degradabilidade potencial do alimento; e c = taxa de degradação (%/hora).

Calculou-se, também, a fração solúvel potencialmente fermentescível do alimento (B):

$B = (a + b) - A$  ou  $100 - (A + C)$ , em que: C = fração indegradável (calculada como  $100 - DP$ ).

A degradabilidade efetiva (DE) dos alimentos foi calculada da seguinte forma:

$DE = \frac{a + b}{c + kp}$ , em que  $kp$  = taxa de passagem do alimento (%/hora) pelo rúmen e foi considerada como 5%/hora.

As estimativas dos parâmetros descritos nos modelos matemáticos foram realizadas utilizando-se métodos iterativos não lineares. Os resultados ajustados por estimativas de quadrados mínimos foram obtidos a partir do uso do método Gauss – Newton, utilizando um procedimento NLIN, com o auxílio do programa SAS (SAS INSTITUTE, 2000).

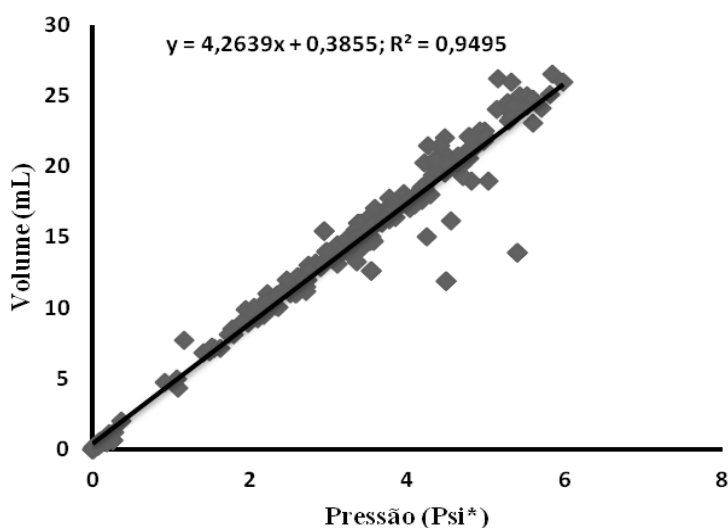
Para a obtenção dos modelos estatísticos que mede a relação entre o volume de gás produzido durante a fermentação e a pressão (psi) utilizou-se o estudo da correlação por meio da linha de comando MANOVA do procedimento GLM de SAS. Uma vez detectada a correlação satisfatória (acima de 85%) e

significativa entre o volume e a pressão, utilizou-se a opção SELECTION=STEPWISE na linha de comando MODEL do procedimento GLM da SAS para que a seleção do melhor modelo fosse feita automaticamente entre os modelos testados (linear, quadrático e cúbico) (SAS INSTITUTE, 2000).

Obtidos os valores dos parâmetros de Schofield et al. (1994), Mehrez e Ørskov (1977) e Ørskov e McDonald (1979) os mesmos foram submetidos à análise de variância segundo um delineamento inteiramente casualizado com 3 repetições por meio do programa SISVAR (FERREIRA, 2000). As médias de variedades foram comparadas pelo teste “F”, as médias de tratamentos (aditivos) pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade e as médias de tratamento em relação às silagens sem aditivos e à matéria original pelo teste de Dunnet a 5% de probabilidade.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados de pressão variaram de 0 a 5,97 psi e os de volume ficaram entre 0 e 26,5 mL. Os tempos de leitura permitiram a obtenção de valores de pressão abaixo de 7,0 psi (Figura 1). Valores acima de 7,0 psi causaram instabilidade na correlação entre as variáveis e alterações no crescimento microbiano (THEODOROU et al., 1994). A equação predita neste estudo teve um comportamento linear, mostrando que a cada unidade de pressão (psi) houve um aumento de 4,2639 mL no volume de gases. A alta correlação ( $R^2 = 0,9495$ ) observada refletiu a acurácia na estimativa do volume de gases produzidos a partir dos valores de pressão gerados durante o processo fermentativo.



**Figura 1.** Dados de pressão e volume obtidos durante experimento de produção de gases com silagens de cana-de-açúcar com diferentes aditivos. (\*libra por polegada quadrada).

Houve efeito de interação de variedades com aditivos para os parâmetros cinéticos da degradação dos carboidratos. Os volumes máximos de produção de gases para a fração não fibrosa foram menores do que a fração fibrosa. Já as taxas de digestão dos carboidratos não fibrosos foram superiores aos fibrosos, fato esperado, pois a fração não fibrosa apresentou maior solubilidade e conseqüentemente maior disponibilidade para os microorganismos. Os menores volumes de gases para a fração não fibrosa em relação à fração fibrosa foram semelhantes aos reportados por Cruz et al. (2010), que avaliaram a composição química, o fracionamento dos carboidratos e a cinética da fermentação ruminal *in vitro* das frações fibrosas e não fibrosas de cinco variedades de cana-de-açúcar.

Em relação aos volumes da fração não fibrosa, fora observado que o material original (cana *in natura*) apresentou maiores volumes finais de gases do que as silagens sem aditivos, sendo superiores ainda aos tratamentos com *L. buchneri* em ambas as variedades. O menor volume para a variedade RB 86 7515 foi nas silagens com *L. buchneri*. Na IAC 86 2480, o maior volume foi com o aditivo NaOH. Entre as variedades, apenas a IAC 86 2480, com o NaOH, apresentou maior volume de gases da fração não fibrosa. Possivelmente o caráter alcalino do hidróxido de sódio alterou as características da parede celular nesta variedade, favorecendo o maior volume para a fração não fibrosa, afinal, quanto maior a taxa de digestão menor é o volume de gases, representando essa taxa apenas a velocidade da digestão.

O tempo de colonização das silagens aumentou com o processamento da cana, exceto a silagem com o aditivo NaOH na variedade RB 86 7515. A variedade IAC 86 2480 apresentou menores tempos de colonização. A exceção se deu apenas nas silagens aditivadas com O NaOH, as quais foram seme-

lhantes. Nesta variedade, as silagens com NaOH e *L. buchneri* também apresentaram os menores valores para o tempo de colonização. Já na RB 867515, o menor tempo foi apenas nas silagens com NaOH. A possível justificativa para este fato é um reanranjo na estrutura das fibras proporcionado pelo hidróxido de sódio, corroborando com Van Soest (1994), que cita que agentes alcalinos alteram os constituintes fibrosos. Para o *L. buchneri*, possivelmente o menor tempo é devido a produção da enzima ferulato-esterase pelo *L. buchneri* (Kung Jr., 2009), que também atua na porção fibrosa, reduzindo o tempo de colonização e aumentando a digestão da fração fibrosa da silagem, cujo efeito foi mais pronunciado na cana IAC 86 2480.

Quanto menor o tempo de colonização mais rápido tem início a degradação do alimento, o que é desejável. Segundo Magalhães et al.(2006), as reduções no tempo de colonização são favorecidas pela presença de substratos prontamente fermentáveis e por características físicas e químicas da parede celular, o que fortalece a hipótese da atuação do hidróxido de sódio sobre a parede celular.

Os volumes máximos de produção de gases da fração fibrosa foram diferentes apenas entre variedades, com o aditivo ureia sendo maior para IAC 86 2480. Possivelmente a composição química da cana IAC favoreceu um melhor efeito da ureia. A taxa de digestão da fração fibrosa foi maior na variedade RB, com o aditivo NaOH. No entanto, este maior valor não foi eficiente para elevar o volume final de gases desta fração (Tabela 2). Possivelmente o efeito do NaOH na parede celular da variedade RB 86 7515 foi mais pronunciado, tendo em vista a maior proporção de componentes fibrosos nesta variedade, conforme pode ser verificado na tabela 1, quando se compara as silagens controle (sem aditivos) das duas variedades.

**Tabela 2.** Médias das estimativas para as variáveis relativas à cinética degradação *in vitro* dos carboidratos pela técnica semi-automática de produção de gases.

Aditivos	VFCNF (mL.g <sup>-1</sup> )		CCNF (h <sup>-1</sup> )		L (h)		VFCF (mL.g <sup>-1</sup> )		CCF (h <sup>-1</sup> )	
	RB	IAC	RB	IAC	RB	IAC	RB	IAC	RB	IAC
Ureia	867515	862480	867515	862480	867515	862480	867515	862480	867515	862480
Ureia	53,54Aa	43,04Ac°	0,11Aa	0,15Aa	8,31Aa°	6,49Ba°	119,87Ba	149,73Aa	0,02Ab°	0,02Aa°
NaOH	61,67Ba	97,73Aa*°	0,07Aa	0,09Aa*	5,22Ab*	4,92Ab°	140,13Aa	140,50Aa	0,05Aa*°	0,02Ba°
CaO	60,80Aa	65,05Ab*	0,12Aa	0,11Aa*	8,99Aa°	6,13Ba°	123,10Aa	130,50Aa	0,02Ab°	0,02Aa°
Milho	61,63Aa	52,78Ac°	0,13Aa	0,14Aa	8,09Aa°	6,30Ba°	128,30Aa	149,60Aa	0,02Ab°	0,03Aa*
<i>L. buchneri</i>	33,62Ab°	44,50Ab°	0,18Aa°	0,11Ba*	7,50Aa°	4,55Bb*°	142,23Aa	129,56Aa	0,02Ab°	0,02Aa°
Controle	42,22A°	45,38A°	0,17A	0,26A°	8,08A°	6,23B°	132,27A	147,20A	0,02A°	0,02A°
Material Original	72,75A	75,94A	0,03A	0,03A	5,08A	3,12B	131,20A	125,10A	0,08A	0,08A
CV (%)	16,53		33,31		9,52		12,41		36,45	

Médias seguidas de letras distintas, maiúscula na linha e minúscula na coluna, diferem entre si (p<0,05) pelos testes de F e Scott-Knot, respectivamente. Médias seguidas de asterisco e/ou círculo diferem entre si (p<0,05) pelo teste de Dunnett do tratamento controle e material original, respectivamente. VFCNF – volume máximo de produção de gases da fração dos carboidratos não fibrosos; CCNF – taxa de digestão para a fração dos carboidratos não fibrosos; L – tempo de colonização; VFCF – volume máximo de produção de gases da fração dos carboidratos fibrosos; CCF – taxa de digestão para a fração dos carboidratos fibrosos; e CV – coeficiente de variação.

Os carboidratos não fibrosos, segundo Nogueira et al. (2005), aumentam a disponibilidade de substrato de rápida fermentação, favorecem a aderência e a colonização pelos microrganismos, resultando em maiores taxas de degradação. A fração não fibrosa certamente apresentará maiores taxas de degradação, dada a facilidade do acesso das enzimas microbianas a seus componentes. Nesse sentido, a variedade IAC e o aditivo NaOH mostraram resultados satisfatórios.

Esperava-se que houvesse um aumento da produção de gases, principalmente em relação à fração fibrosa, ao utilizar a ureia como aditivo em silagens em cana-de-açúcar, pois as bactérias que fermentam carboidratos estruturais utilizam amônia como fonte de nitrogênio (PEREIRA et al., 2010).

Contudo, não foram observados aumento na produção de gases com aquele aditivo na referida fração.

Nogueira et al. (2006) avaliaram a fermentação *in vitro* da MS e do material lavado em água da cana-de-açúcar pela técnica semiautomática de produção de gases e também encontraram um perfil de fermentação *in vitro* semelhante ao deste estudo, caracterizado pela fermentação mais rápida dos CNF e mais lenta da fração fibrosa da cana-de-açúcar.

Nas Figuras 2 e 3 estão demonstradas graficamente as produções acumuladas de gases dos carboidratos para as frações não fibrosas e nas Figuras 4 e 5 para a fração fibrosa das silagens de duas variedades de cana-de-açúcar com diferentes aditivos.

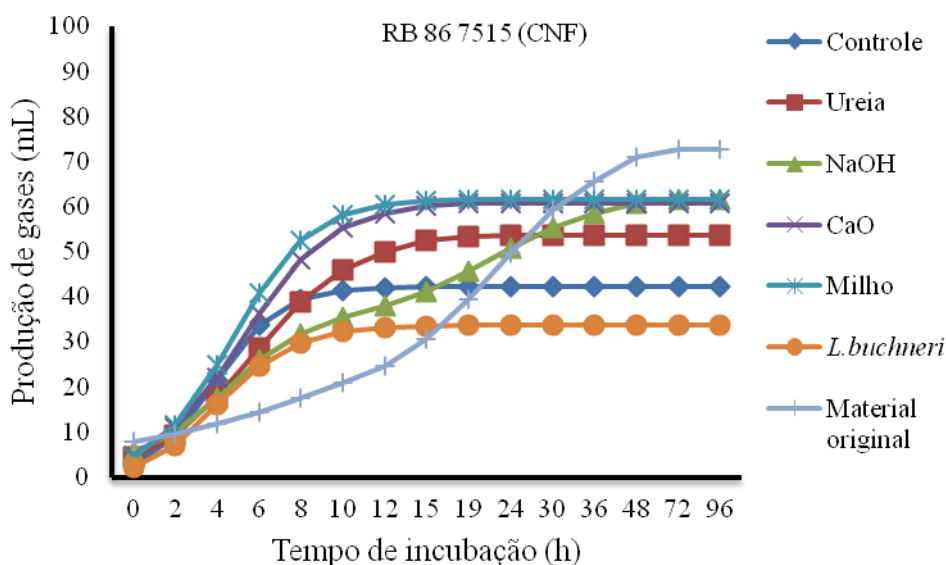


Figura 2. Produção acumulada de gases dos carboidratos não fibrosos (CNF) da variedade RB 86 7515 com diferentes aditivos.

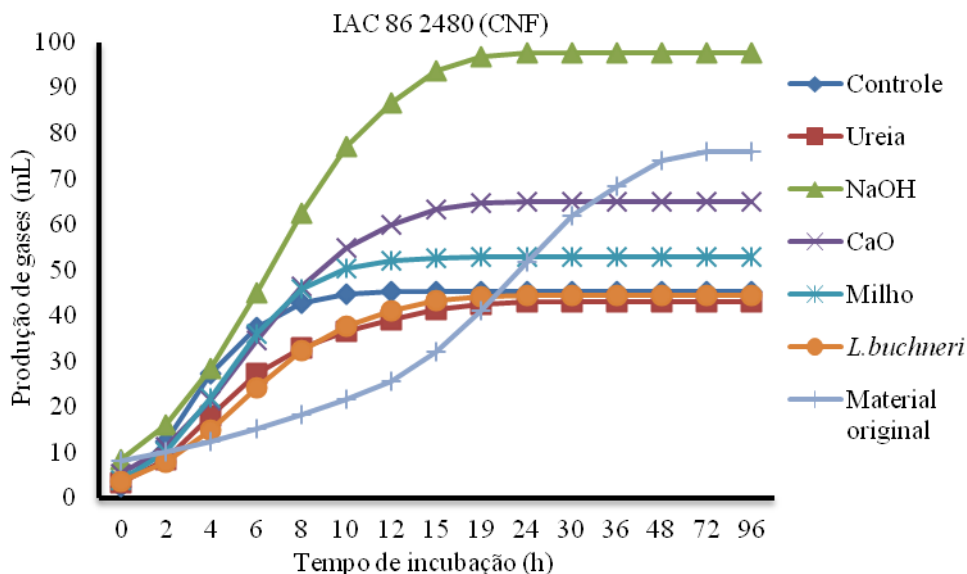
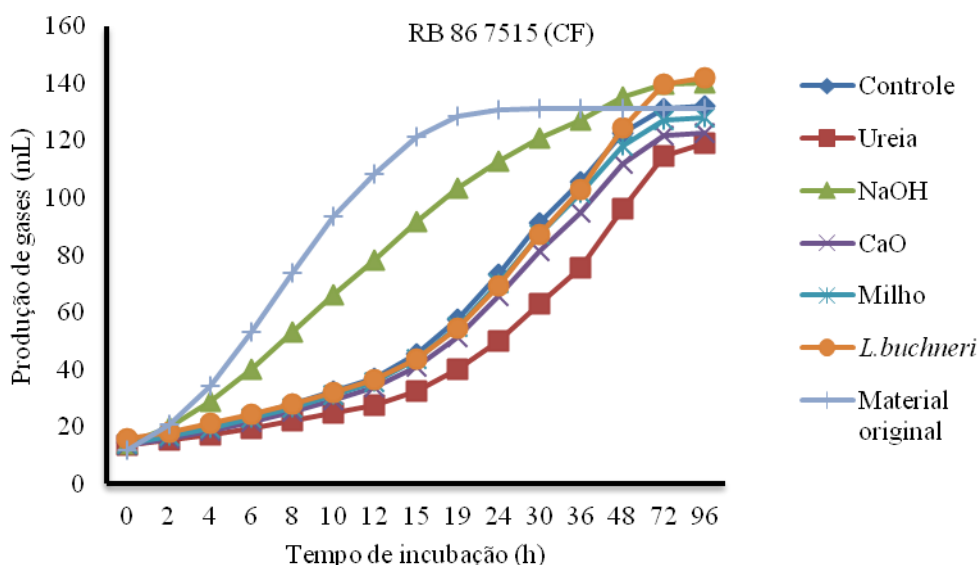
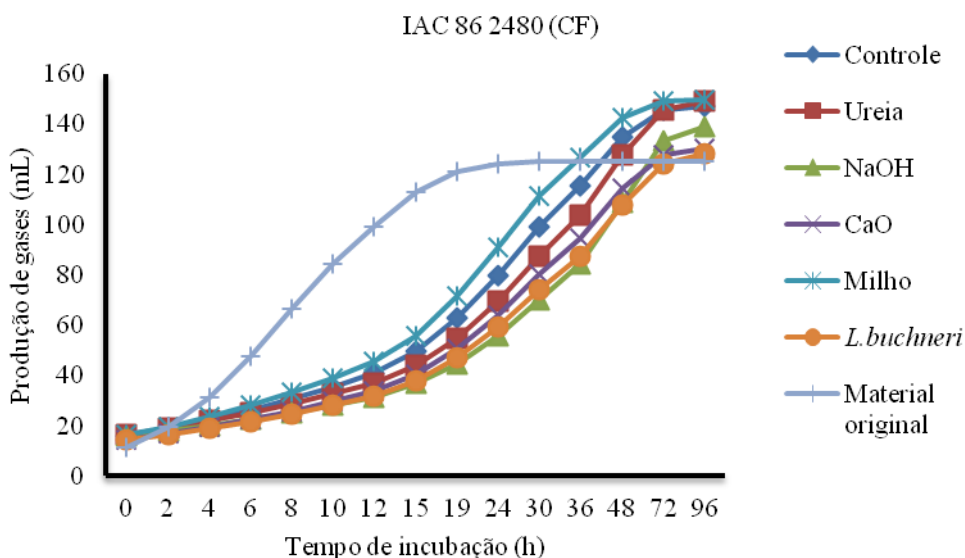


Figura 3. Produção acumulada de gases dos carboidratos não fibrosos (CNF) da variedade IAC 86 2480 com aditivos.



**Figura 4.** Produção acumulada de gases dos carboidratos fibrosos (CF) da variedade RB 86 7515 com aditivos.



**Figura 5.** Produção acumulada de gases dos carboidratos fibrosos (CF) da variedade IAC 86 2480 com aditivos.

As maiores frações solúveis da MS nas duas variedades foram verificadas nas silagens aditivadas com o NaOH e CaO em comparação aos demais aditivos, o que pode ser explicado pelo efeito destes sobre a solubilização de componentes da fração fibrosa. Van Soest (1994) cita que o efeito de produtos alcalinos sobre volumosos de baixa qualidade normalmente ocorre pela solubilização parcial da hemicelulose e pela expansão da celulose em consequência do ataque hidrolítico dessas substâncias nas ligações covalentes do tipo éster entre lignina e a parede celular, permitindo, desta forma, o acesso das enzimas microbianas ruminais à parede celular, favorecendo uma maior fração solúvel, redução da insolúvel e aumento da digestibilidade.

A variedade IAC 86 2480, com o aditivo NaOH e o material original, apresentou menor fração solúvel da MS que a RB 86 7515. A provável expli-

cação para a maior fração solúvel do material original da cana RB em relação a IAC seria um maior teor de sacarose naquela variedade. A silagem da RB 86 7515 aditivada NaOH teve maior proporção de fração solúvel da MS ( $p < 0,05$ ) em relação aos demais tratamentos e a silagem controle desta variedade diferiu das silagens aditivadas com NaOH, CaO e material original, apresentando menor fração solúvel. O material original da variedade RB 86 7515 foi semelhante apenas ao tratamento com CaO. Neste caso, a menor proporção de fração solúvel da MS na silagem controle se deve em relação às silagens aditivadas com NaOH e CaO sobre a solubilização de componentes da parede celular quanto ao material original. A diferença é justificada pelo maior teor de carboidratos solúveis neste material.

A fração potencialmente degradável da MS foi maior nas silagens das variedades RB 86 7515,

com os aditivos milho, *L. buchneri*, e na silagem controle, em relação à silagem da variedade IAC 86 2480. Entretanto, o material original IAC apresentou maior teor de fração potencialmente degradável da MS em relação ao material original da variedade RB 86 7515. Já na silagem da variedade IAC 86 2480 não houve diferença entre os tratamentos ( $p>0,05$ ) (Tabela 3).

A fermentação dos carboidratos não fibrosos (Figuras 2 e 3) foi rápida em relação aos carboidratos fibrosos e em ambas as variedades o volume de gases se estabilizou em torno de 15 horas de incubação para a maioria dos tratamentos. Para a cana *in*

*natura* de ambas as variedades o tempo de 96 horas não foi suficiente para estabilizar a fermentação. A produção de gases aumentou com o tempo de incubação e com 96 horas ainda havia fermentação da fração fibrosa. A exceção foi para o material original, que mesmo tendo lenta degradação da fibra se estabilizou por volta de 30 horas (Figuras 4 e 5). O processo de ensilagem alterou a fermentação do material em estudo.

Verificou-se interação de variedades com aditivos ( $p<0,05$ ) para a fração solúvel (A) e a fração potencialmente degradável (B) da MS (Tabela 3).

**Tabela 3.** Fração solúvel, fração potencialmente degradável e fração insolúvel da matéria seca de silagens de duas variedades de cana-de-açúcar com diferentes aditivos.

Aditivos	A <sup>1</sup> (%MS)		B <sup>2</sup> (%MS)		FI <sup>3</sup> (%MS)	
	RB 867515	IAC 862480	RB 867515	IAC 862480	RB 867515	IAC 86 2480
Ureia	23,41Ac°	28,34Ab	40,59Ab*°	42,07Aa	36,01Aa*	29,59Aa
NaOH	48,91Aa*°	39,81Ba*°	38,15Ab*°	41,45Aa	12,94Ac°	18,74Ab
CaO	38,92 Ab*	41,49Aa*°	43,31Ab*°	41,98Aa	17,77Ac°	16,54Ab
Milho	21,07Ac°	24,03Ab°	53,42Aa°	46,19Ba	25,52Ab°	29,79Aa
<i>L.buchneri</i>	17,73Ac°	24,62Ab	57,43Aa°	47,72Ba	24,84Ab°	27,67Aa
Controle	20,57A°	24,88A	57,23A°	46,73B	22,20A°	28,39A
Material Original	40,79A	31,89B	20,96B	41,14A	38,25A	26,97A
CV (%)	11,46		8,00		20,49	

Médias seguidas por letras distintas, maiúscula na linha e minúscula na coluna diferem entre si ( $P<0,05$ ), pelos testes de "F" e Scott-Knott respectivamente. Médias seguidas de asterisco e ou círculo diferem entre si ( $p<0,05$ ) pelo teste de Dunnett do tratamento controle e material original, respectivamente. A<sup>1</sup> - fração solúvel; B<sup>2</sup> - fração potencialmente degradável (%); FI<sup>3</sup> - fração insolúvel (%); CV - coeficiente de variação.

As menores frações insolúveis da MS foram nas silagens de ambas as variedades com os aditivos hidróxido de sódio e óxido de cálcio. Ressalta-se que os respectivos agentes alcalinos elevaram a fração solúvel, o que implicou em redução da insolúvel. A fração insolúvel reflete efeito na repleção ruminal, acarretando menor disponibilidade energética em virtude de sua característica de indigestibilidade, promovendo menor consumo potencial por unidade de tempo. Apenas na variedade RB 86 7515 que a silagem sem aditivo diferiu da cana *in natura*, sendo que a silagem sem aditivos apresentou menor fração insolúvel em porcentagem da MS. A silagem com ureia apresentou elevada fração insolúvel, sendo superior aos demais tratamentos e à silagem controle e semelhante apenas ao material original. (Tabela 3).

Ao comparar os dados deste estudo com os de Ribeiro et al. (2009), que avaliaram os parâmetros de degradação ruminal da matéria seca da cana-de-açúcar tratada com hidróxido de sódio ou óxido de cálcio pela técnica *in situ*, verifica-se certa proximidade. Os autores supracitados relataram para fração solúvel valores de 38,5, 47,5 e 54,5% nos tratamentos com cana *in natura*, cana + 2,25% CaO e cana + 2,25% de NaOH, respectivamente, e para fração potencialmente degradável valores de 23,2; 30,5 e 33,9% MS, respectivamente.

Santos et al. (2008), ao avaliarem a degrada-

bilidade *in situ* da MS de alguns alimentos como a cana ensilada, encontraram 35,34% (fração A), 30,65% (fração B) e 34,02% (fração insolúvel) e apenas a fração potencialmente degradável foi inferior ao do presente trabalho com o mesmo aditivo (*L. buchneri*).

A taxa de degradação da MS (Tabela 4) foi semelhante entre as variedades e apenas o aditivo CaO e material original foram menores na IAC 86 2480. Na variedade RB 86 7515 a maior taxa de degradação foi no material original. Na IAC 86 2480, silagens com NaOH e milho obtiveram maiores taxas. A degradabilidade potencial apresentou apenas efeito de aditivos ( $p<0,05$ ) (Tabela 4). Nas duas variedades, as silagens com NaOH e CaO se destacaram, apresentando maiores valores. Quanto à degradabilidade efetiva da MS, houve efeito de interação aditivo e variedade. Entre variedades, a maior degradação foi na IAC 86 2480. E dentro de uma mesma variedade os agentes NaOH e CaO foram superiores aos demais tratamentos com aditivos.

Ao se comparar as taxas de degradação da cana com outros alimentos, como feno de alfafa, feno de tifton 85 e silagem de milho (6,43, 1,83 e 2,37% h<sup>-1</sup>, respectivamente) (JOBIM et al., 2011) observa-se que apenas o feno de alfafa foi superior e os demais alimentos próximos aos encontrados para as silagens de cana e a cana *in natura* do presente



estudo. Isso mostra que apesar da baixa taxa de degradação apresentada pela cana os valores encontrados estão próximos a de alimentos de melhor qualidade.

As degradabilidades potenciais e efetivas das silagens aditivadas com NaOH e CaO do presente estudo foram relativamente elevadas e próximas às degradabilidades do feno de alfafa (80,18 e 59,91%) e superiores ao feno de tifton 85 (70,34 e 36,57%) e a silagem de milho (75,95 e 47,34%) (JOBIM et al., 2011). De acordo com Pires et al. (2006), a principal contribuição da adição de produtos químicos na cana-de-açúcar está relacionada com a ação que os mesmos apresentam, pois provocam alterações na parede

celular e melhoram a digestibilidade, elevando as degradabilidades. Os agentes alcalinos NaOH e CaO, independente da variedade analisada, foram eficientes em reduzir as frações insolúveis (Tabela 3), o que contribuiu para uma elevação na degradabilidade efetiva, equiparando a degradabilidade de alimentos de melhor valor nutritivo. Estes mesmos aditivos reduziram os constituintes da parede celular das silagens quanto aos teores de FDN e FDA, o que também auxilia na elevação da degradabilidade. De forma geral, o NaOH e CaO foram promissores no processo da silagem da cana-de-açúcar como um todo e eficientes em reduzir frações insolúveis e favorecer a elevação na degradabilidade *in vitro* da MS.

**Tabela 4.** Parâmetro de degradabilidade ruminal da matéria seca de silagens de duas variedades de cana-de-açúcar com diferentes aditivos.

Aditivos	KD <sup>1</sup> (%MS)		DP <sup>2</sup> (%MS)		DE <sup>3</sup> (%MS)	
	RB	IAC	RB	IAC	RB	IAC
	867515	862480	867515	862480	867515	862480
Ureia	0,013Aa°	0,018Ab	63,99Ac*	70,41Ab	31,90Bc°	39,60Ab
NaOH	0,023Aa	0,024Aa	87,06Aa°	81,26Aa*	60,77Aa*°	53,30Aa*
CaO	0,022Aa°	0,013Bb	82,23Aa°	83,46Aa*	51,79Ab*	50,15Aa*
Milho	0,024Aa	0,026Aa	74,48Ab°	70,21Ab	38,32Ac°	39,77Ab
<i>L.buchneri</i>	0,017Aa°	0,014Ab	75,16Ab°	72,33Ab	32,20Ac°	35,31Ab
Controle	0,018A°	0,019A	77,81A°	71,61A	35,84A°	37,52A
Material Original	0,033A	0,022B	61,75A	73,03A	49,17A	44,50A
CV (%)	24,60		6,45		10,20	

Médias seguidas por letras distintas, maiúscula na linha e minúscula na coluna, diferem entre si (P<0,05), pelos testes de "F" e Scott-Knott respectivamente. Médias seguidas de asterisco e ou círculo diferem entre si (p<0,05) pelo teste de Dunnett do tratamento controle e material original respectivamente. KD<sup>1</sup> - taxa de degradação (h<sup>-1</sup>); DP<sup>2</sup> - degradabilidade potencial (%); DE<sup>3</sup> - degradabilidade efetiva a taxa de passagem de (5%/h<sup>-1</sup>); CV coeficiente de variação.

## CONCLUSÕES

A silagem da cana IAC 86 2480 apresentou os melhores valores para a maioria dos parâmetros cinéticos avaliados.

A utilização de aditivos alterou o valor nutritivo e os parâmetros cinéticos de fermentação, sendo que as silagens aditivadas com NaOH e o CaO reduziram os constituintes fibrosos e aumentaram as degradabilidades potencial e efetiva da matéria seca.

## AGRADECIMENTOS

À FAPEMIG, ao CNPq e a CAPES pelo auxílio com bolsas.

## REFERÊNCIAS

BALIEIRO NETO, G. et al. Óxido de cálcio como aditivo na ensilagem de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 36, n. 5, p. 1231-1239, 2007.

CRUZ, P. G. et al. Fracionamento e cinética da fermentação ruminal *in vitro* dos carboidratos de cinco variedades de cana-de-açúcar. **Ciência Animal Brasileira, Goiânia**, v. 11, n. 4, p. 784-793, 2010.

EVANGELISTA, A. R. et al. Alterações bromatológicas e fermentativas durante o armazenamento de silagens de cana-de-açúcar com e sem milho desintegrado com palha e sabugo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 38, n. 1, p. 20-26, 2009.

FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do SISVAR para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45, 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos: Universidade Federal de São Carlos, 2000. p. 225-258.

JOBIM, C. C. et al. Cinética de degradação ruminal dos fenos de alfafa e Tifton-85 e da silage de milho. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 2, p. 747-758, 2011.

KUNG Jr. L. Effects of microbial additives in silages: facts and perspectives. In: Zopollatto, M.; Muraro, G. B.; Nussio L. G. (Eds.). **International Sym-**

**posium on Forage Quality and Conservation**. São Pedro. p. 7-22, 2009.

LOPES, J.; EVANGELISTA, A. R. Características bromatológicas, fermentativas e população de leveduras de silagens de cana-de-açúcar acrescidas de ureia e aditivos absorventes de umidade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 39, n. 5, p. 984-991, 2010.

MAGALHÃES, R. T. et al. Avaliação de quatro genótipos de sorgo pela técnica “*in vitro*” semiautomática de produção de gases. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 5, n. 1, p. 101-111, 2006.

MAURÍCIO, R. M. et al. A semi-automated *in vitro* gas production technique for ruminants feedstuff evaluation. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 79, p. 321-330, 1999.

MAURÍCIO, R. M. et al. Comparison of bovine rumen liquor and bovine faeces as inoculum for an *in vitro* gas production technique for evaluating forages. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 89, p. 33-48, 2001.

McDOUGAL, E. I. Studies on ruminal saliva. 1. The composition and output of sheep's saliva. **Biochemical Journal**, Cambridge, v. 43, n. 1, p. 99-109, 1949.

MEHREZ, A. Z.; ØRSKOV, E. R. A study of the artificial fiber bag technique for determining the digestibility of feeds in the rumen. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 88, p. 645-650, 1977.

MORAES, K. A. K. et al. Cana-de-açúcar tratada com óxido de cálcio fornecida com diferentes níveis de concentrado para novilhas de corte em confinamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 37, n. 7, p. 1293-1300, 2008.

NOGUERA, R. R. et al. Utilização da técnica de produção de gás para determinar a cinética de fermentação dos carboidratos estruturais e não estruturais em sorgo para forragem. **Livestock Research for Rural Development**, Cali, v. 17, n. 5, 13 p. 2005.

NOGUEIRA, U. T.; MAURÍCIO, R. M.; GONÇALVES, L. C. Comparação de substratos com diferentes quantidades de carboidratos solúveis utilizando a técnica *in vitro* semiautomática de produção de gases. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 58, n. 4, p. 633-641, 2006.

ØRSKOV, E. R.; MCDONALD, I. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation

measurements weighted according to rate of passage. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v.92, p. 499-503, 1979.

PEDROSO, A. F. et al. Efeito do tratamento com aditivos químicos e inoculantes bacterianos nas perdas e na qualidade de silagens de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 36, n. 3, p. 558-564, 2007.

PEREIRA, E. S. et al. Digestão intestinal da proteína de forrageiras e coprodutos da agroindústria produzidos no Nordeste brasileiro por intermédio da técnica de três estágios. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador, v. 11, n. 2, p. 403-413, 2010.

PIRES, A. J. V. et al. Bagaço de cana tratado com hidróxido de sódio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 35, n. 3, p. 953-957, 2006.

RIBEIRO, L. S. O. et al. Degradabilidade da matéria seca e da fração fibrosa da cana-de-açúcar tratada com hidróxido de sódio ou óxido de cálcio. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador, v. 10, n. 3, p. 573-585, 2009.

SANTOS, V. P. et al. Degradabilidade *in situ* da matéria seca e da fração fibra da cana-de-açúcar fresca ou ensilada e da silagem de milho em diferentes ambientes ruminais. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**. Maringá, v. 30, n. 2, p. 193-201, 2008.

SANTOS, M. C. et al. Influência da utilização de aditivos químicos no perfil da fermentação, no valor nutritivo e nas perdas de silagens de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 37, n. 9, p. 1555-1563, 2008.

SAS INSTITUTE. SAS/STAT. **User's guide**. Version 8. Cary, NC, 2000.

SCHOFIELD, P.; PITT, R. E.; PELL, A. N. Kinetics of fiber digestion from *in vitro* gas production. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 72, p. 2980-2991, 1994.

SILVA, D. J.; QUEIROZ, A. C. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2006. 235 p.

SNIFFEN, C. J. et al. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 70, p. 3562-3577, 1992.

THEODOROU, M. K. et al. A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminant feeds. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 48,

p. 185-197, 1994.

VAN SOEST, P. J. **Nutritional ecology of the ruminant**. New York: Cornell University Press, 1994.  
476 p.