



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MONTES CLAROS

**QUALIDADE FERMENTATIVA E
CINÉTICA DE FERMENTAÇÃO RUMINAL
DE SILAGEM DE CANA-DE-AÇÚCAR
COM ADITIVOS**

WÉDER JÂNSEN BARBOSA ROCHA

2012

WÉDER JÂNSEN BARBOSA ROCHA

**QUALIDADE FERMENTATIVA E CINÉTICA
DE FERMENTAÇÃO RUMINAL DE SILAGENS
DE CANA-DE-AÇÚCAR COM ADITIVOS**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Montes Claros como parte das exigências do Programa de Pós Graduação em Zootecnia, área de concentração Produção Animal, para obtenção do título de “Mestre”.

Orientador:

Prof. Dr. Vicente Ribeiro Rocha Júnior

**UNIMONTES
MINAS GERAIS - BRASIL
2012**

R672q

Rocha, Wéder Jânsen Barbosa.

Qualidade fermentativa e cinética de fermentação ruminal de silagens de cana-de-açúcar com aditivos [manuscrito] / Wéder Jânsen Barbosa Rocha. – 2012.

103 p.

Dissertação (mestrado)-Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Universidade Estadual de Montes Claros-Janaúba, 2012.

Orientador: Prof^o. Dr. Vicente Ribeiro Rocha Júnior.

1. Alimentação animal. 2. Cana-de-açúcar. 3. Ensilagem de cana-de-açúcar. I. Júnior, Vicente Ribeiro Rocha. II. Universidade Estadual de Montes Claros. III. Título.

CDD. 636.20855

WÉDER JÂNSEN BARBOSA ROCHA

**QUALIDADE FERMENTATIVA E CINÉTICA
DE FERMENTAÇÃO RUMINAL DE SILAGENS
DE CANA-DE-AÇÚCAR COM ADITIVOS**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Montes Claros como parte das exigências do Programa de Pós Graduação em Zootecnia, área de concentração Produção Animal, para obtenção do título de “Mestre”.

Aprovada em 21 de novembro de 2012.

Prof. Dr. Vicente Ribeiro Rocha Júnior - UNIMONTES

Prof. Dr. Sidnei Tavares dos Reis - UNIMONTES

Prof. Dr. Daniel Ananias de Assis Pires - UNIMONTES

Prof^a Dr^a Héliida Christhine de Freitas Monteiro - UNIMONTES

Prof^a Dr^a Luciana Castro Gerassev - UFMG

Prof. Dr. Vicente Ribeiro Rocha Júnior

UNIMONTES

(Orientador)

UNIMONTES

MINAS GERAIS - BRASIL

Dedico

*A toda a minha família, em especial a minha mãe (Adélia), meu pai
(Beto) e ao meu irmão (Fernando).*

Vocês são a estrutura que me sustenta ao longo das minhas jornadas.

Que Deus os Abençoe sempre...

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida e a graça.

À Universidade Estadual de Montes Claros, pela realização dos estudos.

À Capes, pela concessão da bolsa de estudos.

À Fapemig, pelo apoio financeiro.

A todos os professores, pelos ensinamentos proporcionados.

Ao professor Vicente, pela orientação e paciência.

Ao professor Sidnei, pela coorientação e realização das análises estatísticas.

Ao professor João Paulo, pela amizade.

A toda a família, pelo amor, carinho, incentivo e valores transmitidos.

A Grazy, pelo auxílio na tabulação dos dados e por ser minha fonte de inspiração.

A todos os funcionários da Universidade, em especial ao amigo Valmir, à dona Isabel e à dona Maria, pelos favores prestados.

Aos caríssimos colegas do laboratório de análises de alimentos (Malber, Jéferson, Laís, Deise, Jordana, Camila, Luís Henrique, Ivan), pelas contribuições nas análises realizadas.

Aos companheiros de república, pela boa convivência.

Às domésticas e amigas Macena, Marlene, Eliene, Estefani e Senhorinha, pelo zelo do lar.

Ao amigo Carlos Cunha, pelo apoio e contribuição financeira.

A todos que de alguma forma contribuíram para essa realização, os meus sinceros agradecimentos.

E que Deus nosso pai nos guie para sempre...

Amém.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	i
LISTAS DE FIGURAS.....	ii
RESUMO GERAL.....	iii
GENERAL ABSTRACT	iv
CAPÍTULO I.....	1
1 INTRODUÇÃO GERAL	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 Caracterização da cana-de-açúcar	3
2.2 Utilização da cana-de-açúcar na alimentação animal	3
2.3 Ensilagem de cana-de-açúcar	6
2.4 Utilização de aditivos na ensilagem de cana-de-açúcar	9
2.5 Técnica <i>in vitro</i> semiautomática de produção de gases	18
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	21
CAPÍTULO II	30
RESUMO.....	31
ABSTRACT.....	32
1 INTRODUÇÃO.....	33
2 MATERIAL E MÉTODOS	35
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
CONCLUSÕES.....	53
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	54
CAPÍTULO III.....	60
RESUMO.....	61
ABSTRACT.....	62
1 INTRODUÇÃO.....	63
2 MATERIAL E MÉTODOS	65
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	72
CONCLUSÕES.....	86
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	87

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO II

TABELA 1 Composição química de duas variedades de cana-de-açúcar in natura38

TABELA 2 Valores médios de matéria seca (% MS) e coeficiente de variação (CV) de silagens de duas variedades de cana-de-açúcar com diferentes aditivos39

TABELA 3 Valores médios de perdas por gases em porcentagem da MS inicial, perdas por efluentes (kg t^{-1} de massa verde) e índice de recuperação de matéria seca (% MS) e coeficiente de variação (CV) de silagens de duas variedades de cana-de-açúcar com diferentes aditivos42

TABELA 4 Valores médios de atividade de água (AW), pH, nitrogênio amoniacal em relação ao nitrogênio total ($\text{N-NH}_3/\text{NT}$ %) e coeficientes de variação (CV) de silagens de duas variedades de cana-de-açúcar com diferentes aditivos45

TABELA 5 Valores médios de ácido lático e etanol (% MS) e coeficientes de variação (CV) de silagens de duas variedades de cana-de-açúcar com diferentes aditivos49

TABELA 6 Valores médios de ácido graxos voláteis (%MS) e coeficientes de variação (CV) de silagens de duas variedades de cana-de-açúcar com diferentes aditivos51

CAPÍTULO III

TABELA 7 Reagentes e quantidades utilizadas no preparo do meio de cultura.67

TABELA 8 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).....70

TABELA 9 Médias das estimativas para as variáveis relativas à cinética de degradação *in vitro* dos carboidratos pela técnica semiautomática de produção de gases76

TABELA 10 Fração solúvel, fração potencialmente degradável e fração insolúvel da matéria seca de silagens de duas variedades de cana-de-açúcar com diferentes aditivos82

TABELA 11 Parâmetro de degradabilidade ruminal da matéria seca de silagens de duas variedades de cana-de-açúcar com diferentes aditivos84

LISTAS DE FIGURAS

CAPÍTULO III

- 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) 72
- FIGURA 2** Produção acumulada de gases dos carboidratos não fibrosos (CNF) da variedade RB 86 7515 com diferentes aditivos..... 78
- FIGURA 3** Produção acumulada de gases dos carboidratos não fibrosos (CNF) da variedade IAC 86 2480 com aditivos..... 79
- FIGURA 4** Produção acumulada de gases dos carboidratos fibrosos (CF) da variedade RB 86 7515 com aditivos..... 79
- FIGURA 5** Produção acumulada de gases dos carboidratos fibrosos (CF) da variedade IAC 86 2480 com aditivos. 80

RESUMO GERAL

ROCHA, Wéder Jânsen Barbosa. **Qualidade fermentativa e cinética de fermentação ruminal de silagens de cana-de-açúcar com aditivos**. 2012. Cap. I, 103p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Estadual de Montes Claros, MG.¹

Objetivou-se com esta pesquisa avaliar a qualidade fermentativa e a cinética de fermentação utilizando-se a técnica *in vitro* semiautomática de produção de gases pelos micro-organismos ruminais de silagens de cana-de-açúcar com diferentes aditivos. O experimento foi realizado no Departamento de Ciências Agrárias da UNIMONTES, Campus de Janauba-MG. Utilizou-se 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*) com três repetições e um tratamento sem aditivo por variedades, com a abertura dos silos sendo feita aos 60 dias da ensilagem. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias dos tratamentos (silagens com aditivos) foram comparadas pelo teste de Scott-Knott, as médias de variedades pelo teste “F” e a testemunha (silagem sem aditivo) em relação aos demais tratamentos foram comparados pelo teste de Dunnett, ao nível de 5% de probabilidade. Os aditivos NaOH e CaO propiciaram reduções nas perdas por gases e efluentes das silagens de cana-de-açúcar. A variedade IAC 86 2480 apresentou melhor índice de recuperação de matéria seca. Os aditivos NaOH e *L. buchneri* reduziram a atividade de água na variedade IAC 86 2480. O milho e *L. buchneri* propiciaram menores valores de pH. A adição de ureia elevou significativamente os valores de nitrogênio amoniacal. As silagens aditivadas com NaOH e CaO apresentaram elevados teores de ácido lático e baixos teores de etanol. Os teores de ácido acético em porcentagem da matéria seca foram elevados. Já o ácido propiônico e o butírico encontram-se dentro da faixa ideal, para o processo fermentativo. O maior volume de gás 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 variedade IAC 86 2480 em geral apresentou os menores tempos de colonização. Os melhores resultados para os parâmetros de degradabilidade ruminal foram nas silagens aditivadas com NaOH.

¹ **Comitê de Orientação:** Prof. Dr. Vicente Ribeiro Rocha Júnior – Departamento de Ciências Agrárias/UNIMONTES (Orientador); Prof. Dr. Sidnei Tavares dos Reis – Departamento de Ciências Agrárias/UNIMONTES (Coorientador).

GENERAL ABSTRACT

ROCHA, Weder Jansen Barbosa. **Fermentation quality and rumen fermentation kinetics of sugar cane silages with additives**. 2012. Chapter I, 103 p. Dissertation (Master's degree in Animal Science) – Universidade Estadual de Montes Claros, MG. ¹

The objective of this study was to evaluate the fermentation quality and fermentation kinetics using the *in vitro* semiautomatic technique of gas production by rumen microorganisms of sugar cane silages with additives. The experiment was carried out at the Department of Agricultural Sciences UNIMONTES, Campus Janauba-MG. It was used a completely randomized design with a factorial 2 x 5, being two varieties of sugar cane (RB 86 7515 and IAC 86 2480) and five additives (urea, NaOH, CaO, corn and *L. buchneri*) with three replications and one treatment without additive for each variety, with the opening of the silos at 60 days after ensiling. Data were subjected to analysis of variance and treatment means (silages with additives) were compared by Scott-Knott test, varieties means by the "F" test and the control (silage without additive) in relation to the other treatments were compared by Dunnett test, at 5% level of probability. The additives NaOH and CaO reduced the losses of gas and effluent of sugar cane silages. The IAC 86 2480 variety showed the best recovery rate of dry matter. The additives NaOH and *L. buchneri* reduced water activity in IAC 86 2480. Corn and *L. buchneri* provided lower pH values. The addition of urea significantly elevated values of ammonia nitrogen. The silages with NaOH and CaO showed high levels of lactic acid and low ethanol contents. The levels of acetic acid in percentage of dry matter were high. However, the propionic and butyric acids are within the ideal range for the fermentation process. The highest gas volume of non fiber fraction was in IAC 86 2480, with the additive NaOH. However, in the fiber fraction there was difference only between varieties with the additive urea, and the IAC 86 2480 had the highest volume. The IAC 86 2480 variety in general had the lowest times of colonization. The best results for the parameters of rumen degradability were in silages with NaOH.

¹**Guidance committee:** Prof. Dr. Vicente Ribeiro Rocha Júnior – Department of Agrarian Sciences /UNIMONTES (Adviser); Prof. Dr. Sidnei Tavares dos Reis – Department of Agrarian Sciences/UNIMONTES (Co-adviser).

CAPÍTULO I

QUALIDADE FERMENTATIVA E CINÉTICA DE FERMENTAÇÃO RUMINAL DE SILAGENS DE CANA-DE-AÇÚCAR COM ADITIVOS

1 INTRODUÇÃO GERAL

A alimentação dos rebanhos é motivo de preocupação em quase todas as regiões do Brasil, principalmente durante o período da seca. Esse fato ocorre porque nessa época do ano, as forrageiras diminuem ou cessam o seu crescimento vegetativo e iniciam seu crescimento reprodutivo, ocasionando redução no consumo e queda no desempenho animal.

A cana-de-açúcar possui características agronômicas como alto potencial de produção, além de variedades adaptadas aos diversos ambientes de produção e resistência a doenças e pragas, o que tem feito dessa planta um ingrediente interessante para os sistemas de produção animal. Aliado aos aspectos agronômicos, a cana-de-açúcar, também possui características desejáveis do ponto de vista zootécnico, como elevada produção de nutrientes digestíveis totais (NDT), baixo custo por tonelada de matéria seca, ponto de maturação coincidente com a escassez de forragem e grande amplitude de corte (SANTOS *et al.*, 2008). Essas características fazem com que ela seja utilizada predominantemente fresca, na forma integral, picada e fornecida aos animais, sem nenhum processo de conservação.

Algumas razões relacionadas ao corte diário são apontadas pelos produtores para a não utilização da cana-de-açúcar *in natura*, tais como o corte; o risco de incêndio; a dificuldade de alimentação de grandes rebanhos; e a dificuldade de realização de práticas agronômicas no talhão (EVANGELISTA *et al.*, 2009).

Atualmente, a sua conservação na forma de silagem tem despertado o interesse de pesquisadores e produtores, sobretudo em virtude dos benefícios em logística e operacionalidade dessa técnica.

No processo da ensilagem, devido à grande quantidade de carboidratos solúveis, a cana-de-açúcar apresenta alta susceptibilidade à ação de leveduras. No ambiente anaeróbico do silo, as leveduras são capazes de gerar perdas significativas de matéria seca em razão da fermentação

alcoólica, o que leva à conversão dos açúcares da forragem em etanol, gás carbônico e água. Segundo Nussio *et al.* (2005), o acúmulo de etanol pode não somente representar perdas do material ensilado, mas também perdas decorrentes da recusa pelos animais.

Com o intuito de melhorar os padrões de fermentação da silagem, diversos aditivos vêm sendo testados para que a ensilagem de cana seja uma alternativa a possibilitar um ambiente de produção sustentável.

Assim, objetiva-se por meio desta pesquisa avaliar a qualidade fermentativa e a cinética de fermentação utilizando-se a técnica *in vitro* semiautomática de produção de gases, de silagens de cana-de-açúcar com diferentes aditivos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Caracterização da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* spp) é uma planta alógama, pertence à divisão Magnoliophyta, classe Liliopsida, subclasse Commelinidae, ordem Cyperales, família Poaceae, tribo Andropogonae e subtribo Saccharininae (CASTRO & KLUGE, 2001).

Originada do continente asiático, foi introduzida no Brasil logo após o seu descobrimento, ainda no século XVI (MANZANO *et al.*, 2004). A utilização da cana-de-açúcar como forragem para alimentação de bovinos é muito antiga, pois levantamentos da década de 50 relatavam que 75% dos estabelecimentos produtores de leite a forneciam aos animais.

O setor canavieiro é de grande relevância para o agronegócio brasileiro, apresentando altos índices de crescimento e com elevados investimentos em tecnologia. Além disso, é considerado como uma das opções mais promissoras para o desenvolvimento socioeconômico de várias regiões onde esta cultura se encontra em expansão (MALDONADO, 2007). Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), em 2011, a produção de cana-de-açúcar foi de 588,915 milhões de toneladas e a área plantada foi de 8434,3 mil hectares (CONAB, 2011). Nesse sentido o Brasil continua a ser o maior produtor mundial de cana-de-açúcar.

Entre as forrageiras tropicais, a cana-de-açúcar destaca-se principalmente por sua elevada produtividade (80 a 120 t de matéria verde ha⁻¹) e boa qualidade na época seca do ano, contrastando com as demais forrageiras tropicais (MAGALHÃES *et al.*, 2006).

2.2 Utilização da cana-de-açúcar na alimentação animal

Os principais pontos que justificam a utilização da cana-de-açúcar na alimentação animal são: a simplicidade operacional para manutenção,

condução da cultura e facilidade de aquisição de mudas; o pico da produção associada ao fato do melhor valor nutritivo coincidir com o período de escassez de forragens verdes nos pastos; a manutenção do valor nutritivo por longo espaço de tempo após atingir a sua maturidade (até seis meses); o desenvolvimento de tecnologia para o seu cultivo e os trabalhos de melhoramento genético intenso e constante devido à produção de açúcar e álcool. É facilmente utilizada por pequenas e médias propriedades, uma vez que dispensa altos investimentos com máquinas e implementos agrícolas para manutenção e condução da cultura, e apresenta baixo custo por unidade de matéria seca produzida (MANZANO *et al.*, 2004).

A cana-de-açúcar é uma forrageira com potencial para ser utilizada na alimentação de bovinos. No entanto, algumas características intrínsecas dessa gramínea limitam a sua utilização como único volumoso.

O valor nutritivo da cana-de-açúcar está diretamente correlacionado com o seu alto teor de açúcar, variável entre 40 a 50% na MS. Em função do seu alto teor de carboidratos solúveis, a cana é classificada como um volumoso de média qualidade, contendo um valor médio de 58,9% de nutrientes digestíveis totais (NDT), mas com baixos teores de proteína bruta (PB), valor médio de 3,8% e fósforo, com valor médio de 0,06%, (THIAGO & VIEIRA, 2002). O teor de proteína dificilmente atenderá às necessidades proteicas dos animais se utilizada exclusivamente. O mineral fósforo que é essencial na alimentação dos animais, pois desempenha inúmeras funções no organismo animal também é deficiente na cana. Contudo, a deficiência de proteína e fósforo pode ser corrigida com uso de fontes de nitrogênio não proteico e fontes de minerais fosfatados.

O consumo da cana é afetado principalmente pela fibra, que é relativamente baixa, mas é de degradabilidade ruim. Assim as principais limitações quanto ao emprego da cana-de-açúcar na alimentação animal são seu baixo teor de proteína e baixa digestibilidade da fibra (FREITAS *et al.*, 2006).

Pedroso *et al.* (2010), avaliando o desempenho de vacas leiteiras da raça holandesa alimentadas com silagens de cana tratadas com ureia + benzoato de sódio ou *L. buchneri* em comparação ao desempenho com a forragem fresca, onde a relação volumoso concentrado foi de (63:37), verificaram que as vacas alimentadas com as rações produzidas com as silagens de cana-de-açúcar aditivadas consumiram em média 14% menos matéria seca e produziram 6% menos leite, quando comparadas com as vacas que receberam ração com cana fresca. No entanto, o leite das vacas alimentadas com a silagem tratada com o inoculante bacteriano apresentou maior teor de gordura do que as alimentadas com cana fresca, o que fez com que a produção de leite corrigido para 3,5% de gordura fosse igual nos dois tratamentos (média de 17,6 kg dia⁻¹).

O *L. buchneri* é uma bactéria heterolática e tem como um dos produtos da fermentação o ácido acético, que é um dos principais precursores da gordura do leite e sabe-se que a elevação de seu conteúdo na dieta aumenta o teor de gordura no leite (PEREZ, 2001).

Ao comparar a composição do leite e o desempenho de animais de alta produção alimentados com silagem de cana-de-açúcar ou fontes tradicionais de volumosos, como cana *in natura*, silagem de milho e cana *in natura* + silagem de milho, os pesquisadores verificaram que o consumo de MS foram maiores entre os animais alimentados com as rações contendo silagem de cana e cana-de-açúcar *in natura* + silagem de milho, e que as produções de leite foram semelhantes entre os tratamentos, mesmo quando a produção foi corrigida para 4% de gordura. Em média a produção foi de 24,9 kg dia⁻¹ de leite. A participação da cana nos diferentes tratamentos não ultrapassou 50% da matéria seca das rações (QUEIROZ *et al.*, 2008).

Roman *et al.* (2010), testando o efeito da silagem de cana-de-açúcar, em diferentes dietas em relação à silagem de milho, sobre a composição física da carcaça, o rendimento de cortes e as características da carne de bovinos de corte em confinamento, concluíram que tais características não

diferiram entre as silagens utilizadas. Esses trabalhos mostram o potencial da cana e de sua silagem para alimentação de ruminantes.

Na última década, tem se observado aumento crescente do uso da silagem de cana-de-açúcar na alimentação animal. Ganhos em logística operacional e manejo do canavial e qualidade de vida no meio rural são os principais fatores que impulsionaram essa técnica (SANTOS *et al.*, 2008).

2.3 Ensilagem de cana-de-açúcar

Conforme Sousa (2006), um dos principais fatores que norteiam a tomada de decisão pelo uso da cana-de-açúcar é a logística decorrente da colheita diária da forragem, problema intensificado em propriedades com grandes rebanhos. Além disso, situações em que a cana é utilizada como forragem durante o ano todo incluem dificuldades de colheita em dias chuvosos e perda do valor nutritivo durante o período de verão. Há ainda a necessidade da rápida utilização de canaviais, seja para a liberação de áreas de cultivo para outro tipo de cultura em caso de queda nos preços do açúcar e álcool, ou de áreas que acidentalmente foram queimadas ou que sofreram geadas. Dessa maneira abre-se espaço para utilização da cana-de-açúcar na forma de silagem.

Por razões de ordens agronômicas e/ou econômicas, a exploração isolada da lavoura ou da pecuária tende a apresentar sinais de insustentabilidade. O monocultivo da cana-de-açúcar pode resultar em aumento dos custos de produção e redução da margem de lucro devido à maior incidência de pragas, doenças e plantas invasoras. Tendo em vista esses aspectos, a integração da pecuária com a cana-de-açúcar pode contribuir para reduzir os fatores negativos do ponto de vista ambiental. Dessa forma, a rotação de cultura nas áreas de reforma dos canaviais se coloca como uma interessante alternativa de uso da cana-de-açúcar em sistemas de produção animal, uma vez que cria oportunidade ao pecuarista para explorar a produção de grãos de cereais e oleaginosas, ingredientes

tradicionalmente utilizados na formulação de rações para ruminantes, e auxilia na diminuição da pressão de seleção por pragas e doenças na monocultura instalada. A conciliação desses dois sistemas de produção na propriedade rural permite maior diversificação e, conseqüentemente, redução dos riscos e aumento da margem de lucro, cenário geralmente observado com os avanços tecnológicos trazidos pela agricultura empresarial (NUSSIO *et al.*, 2009).

A cana-de-açúcar é uma planta rica em açúcares solúveis, com cerca de 23% com baixa capacidade-tampão (PEDROSO *et al.*, 2005), 7 e.mg de HCl/100 g de MS (SIQUEIRA *et al.*, 2007a) e adequado teor de matéria seca (MS), variando de 25 a 35% (BERNARDES *et al.*, 2007; SCHMIDT *et al.*, 2007 e SIQUEIRA *et al.*, 2007c.). Essas características propiciam a essa cultura elevada capacidade fermentativa. “Hipoteticamente” a cana-de-açúcar seria uma planta com características intrínsecas necessárias para a ensilagem muito superiores a outras culturas tais como o milho, sorgo e capins tropicais. Essas condições, aliadas a um bom manejo de ensilagem relacionado ao tamanho de partícula, compactação e vedação, são propícias para o desenvolvimento de microrganismos desejáveis, como *lactobacillus*, *pediococcus* entre outras bactérias homofermentativas. Como existe alta disponibilidade de substratos e condições de anaerobiose adequada, inicia-se a produção de ácidos, que aliada à baixa capacidade-tampão reduz os valores de pH rapidamente (SIQUEIRA, 2009). Pedroso *et al.* (2005) e Evangelista *et al.* (2009) observaram reduções do pH a valores inferiores a 4, aos três dias de fermentação, o que é desejável em qualquer silagem.

A cana-de-açúcar possui uma microflora epífita rica em leveduras que pode chegar a 1×10^6 UFC g⁻¹ de forragem fresca. A maioria das espécies de leveduras necessita de oxigênio para seu crescimento, pois a via respiratória apresenta maior rendimento energético. Todavia, algumas espécies de leveduras se desenvolvem em condições anaeróbias, podendo manter altas populações nessas condições, em decorrência da fermentação dos açúcares (WALKER, 1998). No caso da ensilagem da cana-de-açúcar,

em que a queda do pH é rápida, as leveduras dominam o processo fermentativo, visto que não são inibidas pela redução do pH no alimento e possuem a habilidade de crescer em intervalos de pH de 2 a 8. Essa característica possibilita às leveduras ocuparem diferentes nichos ambientais, quando comparadas às bactérias (McDONALD *et al.*, 1991; WALKER, 1998), além do fato de o etanol ser tóxico a muitos microrganismos.

De acordo com McDonald *et al.* (1991), a fermentação por leveduras gera perda de massa de 48,9%, devido à produção de CO₂, que após ser sintetizado é perdido para o ambiente (Glicose + 2ADP + 2Pi → 2 Etanol + 2 CO₂ + 2 ATP + 2 H₂O). Essas perdas podem ser aumentadas, em razão da volatilização do etanol, principalmente em silos de grande escala. Em vários estudos, observaram-se baixos teores de etanol nas silagens de cana-de-açúcar que, segundo os autores, deve ter sido perdido por volatilização durante o processo de retirada da forragem dos silos (PEDROSO *et al.*, 2006; SCHMIDT *et al.*, 2007 e QUEIROZ *et al.*, 2008). Talvez a produção de etanol e a consequente redução no valor nutritivo da silagem de cana seja a principal dificuldade apresentada por essa tecnologia e o maior desafio da pesquisa esteja na busca por processos específicos que controlem adequadamente a população e a atividade de levedura, sem prejuízos da qualidade da silagem e do desempenho animal.

Dessa forma, o interesse das pesquisas na conservação de cana-de-açúcar tem aumentado por parte da comunidade científica, fato que pode ser constatado no crescente número de publicações nesta área. Os maiores esforços vêm sendo realizados para viabilizar a conservação desse volumoso, apresentando como principais desafios o entendimento da dinâmica entre as características intrínsecas da planta como teor de carboidratos e composição da fração fibrosa, bem como as características da população de micro-organismos epifíticos (MALDONADO, 2007).

2.4 Utilização de aditivos na ensilagem de cana-de-açúcar

A utilização de aditivos no processo de ensilagem almeja uma melhoria do valor nutritivo, redução na produção de etanol, nas perdas de MS e uma maior estabilidade aeróbica das silagens (FREITAS *et al.*, 2006).

Os aditivos podem ser classificados em cinco principais categorias: estimulantes de fermentação, inibidores de fermentação, inibidores de deterioração aeróbica, nutrientes e absorventes (McDONALD *et al.*, 1991). Podem ainda ser subdivididos em químicos, microbianos e enzimáticos.

O processo de calcinação (aquecimento) das rochas de calcita e dolomita moídas tem como produto final o óxido de cálcio (CaO), também conhecido como cal virgem. O processamento das rochas calcárias para a geração de compostos mais reativos traz como benefício adicional a obtenção de produtos livres de elementos tóxicos. Dessa forma, esses produtos podem ser utilizados como aditivos na produção animal sem ocasionar risco de intoxicação alimentar. A cal microprocessada utilizada recentemente para o controle da fermentação alcoólica em silagens de cana-de-açúcar é um exemplo dessa classe de aditivos. Supõe-se que esse aditivo aumente o pH, reduza a fermentação da sacarose a etanol e gás, melhore a estabilidade aeróbia e minimize perdas totais após abertura do silo (BALIEIRO NETO *et al.*, 2005a).

A utilização do óxido de cálcio, um agente químico alcalino, foi preconizada para realização da hidrólise alcalina da cana-de-açúcar *in natura* para elevar a digestibilidade da fração fibrosa e propiciar estabilidade aeróbia à cana-de-açúcar *in natura* picada. Como há crescente interesse e relativa carência de informações, vários estudos estão sendo desenvolvidos com o intuito de fornecer uma posição segura para essa alternativa de manejo (SIQUEIRA *et al.*, 2007b).

Segundo Balieiro Neto *et al.* (2005b), a adição de óxido de cálcio nas silagens de cana-de-açúcar promoveu a solubilização parcial da hemicelulose, sendo que a adição de 2% do aditivo implicou aumento da

digestibilidade verdadeira *in vitro*, redução dos constituintes da parede celular e manutenção da FDN e hemicelulose após a abertura dos silos.

Cavali *et al.* (2006) avaliaram diferentes doses de cal virgem em silagens de cana-de-açúcar, observaram menores concentrações nos valores de FDN, FDA e hemicelulose e maiores coeficientes de digestibilidade nas silagens tratadas.

Balieiro Neto *et al.* (2007) testaram diferentes doses de óxido de cálcio e concluíram que a utilização do aditivo promoveu redução nos teores de fibra, aumento de digestibilidade e incremento da preservação de carboidratos não fibrosos após a abertura do silo. O aditivo no nível de 1% foi capaz de aumentar a digestibilidade, reduzir os constituintes da parede celular, manter teores de FDN e hemicelulose após abertura do silo e promover maior estabilidade da composição química e melhor qualidade da silagem. Roth *et al.* (2006) estudaram o efeito do óxido de cálcio em silagens de cana-de-açúcar *in natura* e queimada e constataram que a dose de 1% foi eficiente no controle de perdas nas duas silagens. Santos *et al.* (2008) analisaram o efeito do óxido de cálcio, do calcário e do gesso em silagens de cana-de-açúcar, sendo que o óxido de cálcio promoveu menores perdas fermentativas (16,40% com cal e 34,31% sem aditivo) e gasosas (14,61% com cal e 32,11% sem aditivo) que resultaram em maiores recuperações de matéria seca (83,61% com cal e 65,69% sem aditivo), maior teor de carboidratos solúveis residuais (7,28% com cal e 2,98% sem aditivo) e de ácido lático (3,53% com cal e 2,00% sem aditivo) e menores teores de etanol (0,38% com cal e 4,78% sem aditivo) e, no momento da abertura, menores teores da fração fibrosa (53,70% com cal e 67,10% sem aditivo) em relação à silagem sem aditivo.

Santos *et al.* (2009), avaliando silagens de cana-de-açúcar aditivadas com cal virgem e calcário, encontraram valores de cinzas bem menores no momento da ensilagem (2,3% para a silagem controle e de 4,5 e 3,2% para as silagens contendo cal virgem ou calcário, respectivamente). Da mesma forma, verificou-se aumento nos valores de cinzas quando o aditivo químico

foi inserido no volumoso, o que possivelmente está relacionado ao fato de os aditivos serem de origem mineral e apresentarem grande proporção dessa fração em sua totalidade (AMARAL *et al.*, 2009). Ainda se verificou que o tratamento químico com o CaO foi eficiente em reduzir a produção de etanol, o que é desejável, além de reduzir as perdas gasosas (AMARAL *et al.*, 2009).

Recentemente, em trabalho avaliando as perdas fermentativas e estabilidade aeróbia de silagens de cana-de-açúcar tratadas com cal virgem e cloreto de sódio, constatou-se que, independente das doses, as silagens aditivadas com cal apresentaram menores perdas de matéria seca, variando de 3,09 a 30,49% nas silagens com 1,5% de cal e silagem sem aditivo, respectivamente (REZENDE *et al.* 2011). No mesmo trabalho, o cloreto de sódio também mostrou ser um aditivo promissor, proporcionando maior estabilidade aeróbia das silagens.

O hidróxido de sódio, agente fortemente alcalino, foi recomendado para ser utilizado na ensilagem da cana, pois foi capaz de alterar a fermentação alcoólica para fermentação predominantemente láctica (FREITAS *et al.*, 2006), além de quebrar o composto lignocelulósico das forragens e aumentar proporcionalmente seus componentes nutritivos. Conforme Pereira Filho *et al.* (2003), as palhadas, restolhos de culturas, bagaço de cana-de-açúcar e fenos de gramíneas de baixo valor nutritivo estão entre os alimentos mais submetidos ao tratamento químico com hidróxido de sódio que, na sua maioria, proporciona ganhos de 20 a 50% na digestibilidade *in vitro* da matéria seca.

Ezequiel *et al.* (2005) estudaram a aplicação de NaOH em cana fresca e ensilada por 30 dias. Foi aplicado NaOH em solução 50% a 1,5% da massa verde. O tratamento alcalino aumentou a digestibilidade da MS, que foi 80,2, 72,5 e 58,6% para cana fresca tratada com NaOH, silagem tratada com NaOH e cana fresca, respectivamente. A digestibilidade da FDN seguiu o mesmo comportamento 65,4, 50,5 e 29,4% para cana fresca tratada com NaOH, silagem tratada com NaOH e cana fresca respectivamente. No

mesmo experimento, os autores avaliaram o consumo de matéria seca da cana tratada e não tratada. Nos diferentes processamentos, observaram que a hidrólise melhorou o consumo da cana (10,5 kg MS dia⁻¹), já a silagem hidrolisada teve o consumo igual ao da cana fresca (8,4 kg dia⁻¹). Embora a ingestão de matéria seca da silagem tenha sido a mesma da cana fresca, o tratamento pode ser considerado vantajoso, já que a ingestão de matéria seca da silagem de cana é inferior à da cana *in natura*.

Pedroso *et al.* (2007), avaliando o efeito de aditivos químicos e inoculantes bacterianos nas perdas e na qualidade de silagens de cana-de-açúcar, observaram que as silagens tratadas com o NaOH apresentaram teores de etanol semelhantes ao obtido na silagem sem aditivo, porém as perdas totais de MS ocorreram nos níveis mais baixos observados no trabalho, apesar de as silagens terem apresentado pH superior ao nível máximo considerado adequado à estabilização de forragens ensiladas. Em média, as silagens tratadas foram 46% mais digeríveis que a silagem sem aditivo, coerentemente apresentaram menores concentrações de FDN, FDA e lignina, mostrando a capacidade desse álcali de romper e de solubilizar componentes da parede celular. Ressalta-se, no entanto, que, apesar de seus efeitos positivos, o NaOH tem sofrido restrições de uso na ensilagem pelos riscos inerentes à sua manipulação, ao meio ambiente e à redução na vida útil das máquinas (PEDROSO *et al.*, 2007).

A adição de ureia na ensilagem baseia-se na transformação dessa em amônia, que reage com água, formando hidróxido de amônia, elevando o pH e atuando sobre o metabolismo de micro-organismos indesejáveis, principalmente as leveduras (KUNG JUNIOR *et al.*, 2003). Inúmeros trabalhos vêm sendo realizados para avaliar o efeito da ureia como aditivo em silagem de cana-de-açúcar (SCHMIDT *et al.*, 2007; SIQUEIRA *et al.*, 2007a; RIBEIRO *et al.*, 2010). De modo geral, doses entre 0,5 e 1,0% da matéria verde parecem ser mais efetivas em reduzir, pela ação antifúngica, as perdas fermentativas, embora não apresente efeito sobre o controle de produção de álcool e efluentes. Doses superiores de ureia exercem efeito-

tampão, o que é crítico ao processo de fermentação, além de aumentarem o custo da produção da silagem (NUSSIO *et al.*, 2009).

Molina *et al.* (2002) constataram que silagens tratadas com 0,5 e 1,5% de ureia proporcionaram bom padrão fermentativo e melhor composição bromatológica, como teor de MS mais elevado e teores mais baixos de FDA e FDN, em comparação à silagem de cana-de-açúcar sem aditivos.

A recuperação de N nas silagens aditivadas com ureia é geralmente alta (acima de 70%), o que deve ser computado como benefício adicional na escolha desse aditivo (NUSSIO & SCHMIDT, 2005). Esse fato foi observado por Pedroso *et al.* (2005), Roth *et al.* (2005); Junqueira (2006), os quais avaliaram doses crescentes de ureia na ensilagem da cana-de-açúcar e encontraram elevação dos valores de proteína bruta da forragem. Adicionalmente, Gentil *et al.* (2007) testaram a utilização da ureia como aditivo da silagem de cana-de-açúcar nas doses de 1,0% e 1,5% da matéria verde sobre o consumo voluntário, digestibilidade e balanço de nitrogênio em borregos. Os autores não encontraram diferença na ingestão e concluíram que o processo de ensilagem com aditivos foi eficiente em manter o valor nutritivo.

Sousa *et al.* (2005) avaliaram os parâmetros fermentativos de silagem de cana-de-açúcar com aditivos químicos e bacterianos, incluindo ureia na concentração de 1% da matéria verde. Os resultados mostraram que os aditivos alteraram a cinética das perdas durante os tempos de estocagem, sendo que a silagem tratada com ureia apresentou, em relação ao controle, menor perda por gases (28,01 contra 32,5%) e maior recuperação de matéria seca (74,24 contra 64,71%).

Roth *et al.* (2005), trabalhando com diferentes concentrações de ureia (0,5; 1,0 e 2,0% na MV), constataram que o aumento de 1% de ureia representa uma elevação de 9,7 unidades percentuais no teor de proteína bruta. Utilizando equações matemáticas, os autores verificaram que a maior digestibilidade estava associada à adição de 1,37% de ureia, e que o efeito do

aditivo sobre a menor recuperação de hemicelulose ocorreu com a adição de 1,3% de ureia na MV.

Alguns agentes germicidas frequentemente usados como conservantes na indústria alimentícia têm sido testados como aditivos. Dentre eles, encontra-se o ácido sórbico, utilizado na forma de sorbato de potássio e o benzoico que foram eficientes em inibir o crescimento de leveduras em testes de laboratório. Além destes possíveis efeitos, Pedroso (2003) cita que os referidos aditivos apresentam capacidade em diminuir a produção de etanol na silagem.

Ao comparar silagens de cana-de-açúcar tratadas com três diferentes níveis de sorbato de potássio (0,015; 0,03; e 0,045% da matéria natural – MN) com silagem sem aditivo (controle), Pedroso (2003) não observou alteração nos teores de etanol produzido nas silagens (3,1, 1,8 e 2,9%, respectivamente), provavelmente devido à baixa presença deste álcool no grupo-controle, que foi de 3,82% da MS. Porém, a dose de 0,03% reduziu as perdas totais de MS em aproximadamente 39% e melhorou a estabilidade aeróbica da silagem.

A adição de aditivos nutrientes e ou absorventes de umidade na ensilagem de cana-de-açúcar é questionada. Andrade *et al.* (2001) avaliaram a ensilagem de cana-de-açúcar tratada com ureia e com doses de 0 a 12% de milho desintegrado com palha e sabugo e concluíram que a adição do milho desintegrado com palha e sabugo (MDPS) melhorou o padrão de fermentação e o valor nutritivo das silagens.

Bernardes *et al.* (2007), analisando a queima e a adição de milho desintegrado com palha e sabugo (MDPS) na ensilagem de cana-de-açúcar, constataram que silagens adicionadas de MDPS apresentaram menores teores de N-NH₃ e maiores valores de PB, indicando que a redução da atividade de água das silagens pode provocar menor atividade de clostrídeos. No entanto, tanto a queima quanto a inclusão de aditivo seco durante a ensilagem não promoveram controle da fermentação etanólica na silagem de cana-de-açúcar.

Lopes *et al.* (2007), avaliando a inclusão da ureia e de aditivos absorventes de umidade (fubá de milho, amireia e mandioca desidratada) na silagem de cana, concluíram que o valor nutritivo da silagem aumentou com o acréscimo de aditivos, houve maior consumo e digestibilidade da proteína bruta, principalmente nos animais alimentados com as silagens acrescidas de ureia-fubá, ureia-raspa de mandioca e amireia, que apresentaram balanço de nitrogênio positivo.

Avaliando a inclusão de 10% de MDPS em silagens de cana-de-açúcar, observou-se melhora da composição química, pois os teores de proteína bruta aumentaram e os de fibra em detergente neutro reduziram; no entanto, os aditivos não contribuíram para a melhoria dos parâmetros fermentativos (EVANGELISTA *et al.*, 2009).

Dentre os aditivos microbianos utilizados, as bactérias heterofermentativas, *Lactobacillus buchneri*, têm se mostrado capazes de reduzir a população de leveduras e aumentar a estabilidade aeróbia de silagens de milho e de gramíneas de clima temperado (RANJIT, 2000; TAYLOR, 2002). A inoculação de silagens de milho, sorgo, trigo, cevada e gramíneas com *Lactobacillus buchneri* reduziu a concentração de ácido láctico e aumentou a concentração do ácido acético e a estabilidade aeróbia destas silagens inibindo o crescimento de leveduras (KLEINSCHMIT & KUNG JR., 2006).

As bactérias *Lactobacillus buchneri* não possuem a enzima acetaldeído desidrogenase, por isso não são capazes de produzir etanol durante o processo de fermentação anaeróbia da glicose (NUSSIO *et al.*, 2009).

Oude Elferink *et al.* (2001) descreveram a via de degradação anaeróbia em que o ácido láctico é convertido em ácido acético a 1,2 propanodiol pelo *L. buchneri*. O ácido acético em pH inferior ao seu pKa (4,75) fica na forma não dissociada, sendo a membrana de leveduras e fungos permeável a ele, conseqüentemente a entrada do ácido é realizada via transporte passivo (DANNER *et al.*, 2003). Dentro da levedura, ele é

dissociado (RCOO⁻ e H⁺) devido ao fato de o pH interno do microrganismo ser por volta de 7,0 (superior ao pKa), liberando íons H⁺, conseqüentemente ocorre rápida redução do pH intracelular. Para elevar novamente o pH, o microrganismo tem de expulsar os íons H⁺, implicando gasto de energia, por se tratar de um processo de transporte ativo, retardando o crescimento e podendo causar a morte celular (McDONALD *et al.*, 1991).

Pedroso *et al.* (2007), pesquisando o efeito de diversos aditivos e inoculantes bacterianos, dentre eles o *Lactobacillus buchneri* no controle da produção de etanol, nas perdas de MS e na qualidade de silagens de cana-de-açúcar, observaram que a inoculação da silagem com *L.buchneri* não causou diminuição na concentração de etanol, mas reduziu em 56% a perda total de MS da silagem, embora a produção de efluentes tenha sido 51% maior em relação à silagem sem aditivos. No mesmo trabalho, a cana inoculada com o *L. buchneri* apresentou menor redução na digestibilidade *in vitro* da matéria seca durante a ensilagem, quando comparada àquela sem aditivo (10,4 vs 15,3%).

Em trabalho que objetivava avaliar os efeitos da fermentação no valor nutritivo e a capacidade do *Lactobacillus buchneri* em melhorar a estabilidade aeróbia da cana conservada na forma de silagem, verificou-se que houve redução no teor de MS e aumento nos constituintes da parede celular (MENDES *et al.*, 2008), corroborando os dados da literatura (PEDROSO *et al.*, 2005; SANTOS *et al.*, 2006; FREITAS *et al.*, 2006). A maior concentração dos componentes da fibra na MS das silagens é ocasionada pelas perdas de carboidratos solúveis durante a fermentação (PEDROSO *et al.*, 2005). Na mesma pesquisa as silagens aditivadas apresentaram melhor estabilidade aeróbia, onde a silagem sem aditivo atingiu temperatura máxima de 37,8 °C após 96 horas de exposição ao ar, enquanto a aditivada a temperatura máxima foi de 22,5 °C após 120 horas em aerobiose (MENDES *et al.*, 2008).

Existem poucos trabalhos na literatura sobre a digestibilidade aparente no trato digestório total de rações contendo silagens de cana-de-

açúcar (MENDES *et al.*, 2008). Em geral, os trabalhos encontrados avaliaram a digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS). Pedroso *et al* (2007) estudaram a DIVMS de silagens de cana-de-açúcar e não observaram diferença entre as silagens sem inoculantes ou tratadas com *L. buchneri*. Silva *et al.* (2008) constataram redução de 14,25% na DIVMS quando compararam a cana-de-açúcar fresca com a ensilada durante 85 dias.

Mesmo havendo, toda uma ação teórica da atuação do *L. buchneri* e alguns bons resultados com sua utilização na ensilagem da cana-de-açúcar, observam-se muitas variações nas respostas. Uma possível solução seria o aumento da dose utilizada que, com base nos resultados obtidos em trabalhos internacionais, deveria ser de aproximadamente 5×10^5 UFC g⁻¹ de massa ensilada, ou seja, dez vezes a dose utilizada no Brasil. Estudos para a comprovação e validação da dose adequada devem ser realizados (SIQUEIRA *et al.*, 2011).

A busca por novos aditivos ou por combinações de produtos que apresentem efeito sinérgico na prevenção de perdas durante a ensilagem de cana-de-açúcar mantém-se em destaque entre as pesquisas sobre forragens conservadas no Brasil, com intuito de elevar o número de informações que esclareçam a dinâmica fermentativa desse material (SCHMIDT *et al.*, 2011).

Pedroso *et al.* (2011) associaram ureia com o benzoato de sódio em silagem de cana-de-açúcar e verificaram que tal associação promoveu redução de aproximadamente 53% do teor de etanol (42,7 vs 92,3 g kg⁻¹ de MS), não alterou o teor de ácido acético (53,0 e 67,5 g kg⁻¹ de MS, respectivamente) e aumentou em 26% o teor de ácido láctico na silagem (80,6 vs 37,5 g kg⁻¹ de MS) em relação à silagem sem tratamento. Além da menor produção de etanol, a associação dos aditivos resultou em forragem de melhor qualidade, com teor mais elevado de PB, menor teor de componentes fibrosos (FDN e FDA) e maior conteúdo energético (NDT), quando comparada às silagens sem aditivos e inoculada com o *L. buchneri*.

Schmidt *et al.* (2011) testaram dois aditivos na ensilagem de cana-de-açúcar, um comercial contendo *Lactobacillus buchneri* (5×10^4 UFC g⁻¹),

e outro composto de cepas de *L.brevis* + *Enterococcus faecium* + *L. plantarum* (1×10^5 UFC g⁻¹), avaliados em comparação a uma silagem-controle, sem aditivos, sobre os parâmetros de composição químico-bromatológica e a estabilidade aeróbia. Verificou-se elevação média de 17,8 e 12,7 unidades percentuais nos teores de FDN e FDA, respectivamente, da cana antes e após a ensilagem. Os aditivos testados foram ineficientes em prevenir as perdas fermentativas e, pelo contrário, promoveram elevações de 47,9 e 88,9% nas perdas totais de MS, com o *L. buchneri* e com o composto, respectivamente. De acordo com os trabalhos revisados, verifica-se que a utilização de aditivos no processo de ensilagem da cana-de-açúcar é indispensável, mas que os resultados obtidos para os diferentes aditivos são controversos.

2.5 Técnica *in vitro* semiautomática de produção de gases

O termo qualidade refere-se à totalidade de fatores que influenciam o valor nutritivo das plantas forrageiras para os animais, de modo que os principais fatores estão relacionados ao valor nutricional da forragem e à digestibilidade e ao consumo de alimentos, que, em última instância, determinam o suprimento de nutrientes para os diferentes processos fisiológicos (VAN SOEST *et al.*, 1991).

Vários são os métodos utilizados na determinação do valor nutritivo dos alimentos.

As determinações mais confiáveis do valor nutritivo, tais como digestibilidade, consumo e desempenho animal obtidas a partir de experimentos *in vivo*, demandam muito tempo, trabalho e um grande volume de alimento, o que inviabiliza o seu uso na avaliação rotineira de alimentos (SENGER *et al.*, 2007), além de afetar o bem-estar animal.

As técnicas *in vitro* que utilizam microrganismos e/ou enzimas que reproduzam as condições do trato digestivo dos ruminantes, pela simplicidade de execução, baixo custo, acurácia e alta relação com dados

obtidos *in vivo* têm se tornado cada vez mais populares (WILLIAMS, 2000). O método de digestibilidade de duplo estágio proposto por Tilley e Terry (1963) é um dos mais utilizados para avaliação da digestibilidade de forragens e é considerado muito preciso para predizer o valor energético do alimento (MINSON, 1990), porém esse método apresenta a limitação de não fornecer informações sobre a dinâmica da fermentação, ou seja, a taxa de degradação de determinado alimento.

A técnica de produção de gases vem merecendo grande atenção por parte dos pesquisadores, nos últimos anos, devido, entre outras vantagens, ao fato de possibilitar o estudo da cinética de fermentação, preservar a amostra a cada coleta de dados e permitir a detecção das frações solúveis dos alimentos para a fermentação ruminal (MAGALHÃES *et al.*, 2006).

A técnica de produção de gases desenvolvida por Theodorou *et al.* (1994) caracteriza-se pela leitura manual do volume de gases produzidos através de uma seringa plástica graduada. O uso da seringa restringe o número de amostras analisadas por experimento, diminui o número de leituras e consequentemente compromete descrição da curva de fermentação principalmente durante o período inicial de fermentação (lag-phase) e muitas vezes comprometem a acurácia das leituras devido a erros cometidos pelo operador (MAURÍCIO *et al.*, 2003).

A técnica *in vitro* semiautomática de produção de gases (MAURÍCIO *et al.*, 1999), que utiliza um transdutor de pressão para medição da produção de gases, pode ser a metodologia adequada para este propósito, pois possibilita a avaliação de grande número de substratos, tem baixo custo e alta repetibilidade.

A técnica apresenta potencial de descrição da cinética de fermentação, da taxa e extensão da degradação de forrageiras (GUIMARÃES Jr. *et al.*, 2008). Constitui também uma ferramenta promissora em avaliações das taxas de digestão das frações solúveis e insolúveis dos alimentos, utilizadas pelos sistemas modernos de predição de consumo (NRC, 2001). O substrato é suspenso no meio anaeróbico, mantido

a 39 °C, e o fluido ruminal fresco é adicionado como inóculo. A produção de gases da fermentação é registrada e interpretada como medida indireta da degradabilidade, o que possibilita a descrição da cinética de fermentação (WILLIAMS, 2000).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL, R. C. *et al.* Cana-de-açúcar *in natura* ou ensilada com e sem aditivos químicos: estabilidade aeróbia dos volumosos e das rações. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa-MG, v. 38, n. 10, p. 1857-1864, 2009.

ANDRADE, J. B.; FERRARI JR, E.; BRAUN, G. Valor nutritivo da silagem de cana- de- açúcar tratada com ureia e acrescida de rolão de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, p. 1169-1174, 2001.

BALIEIRO NETO, G. *et al.* Perdas na ensilagem da cana-de-açúcar cv. IAC86/2480 (*Saccharum officinarum* L.) com doses de óxido de cálcio. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 42, 2005, Goiânia. **Anais...** Goiânia: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2005a. (CD ROM).

BALIEIRO NETO, G. *et al.* Valor nutritivo da silagem de cana-de-açúcar cv. IAC 86/2480 (*Saccharum officinarum* L.) com doses de óxido de cálcio antes e depois da ensilagem e com 3, 6 e 9 dias após abertura do silo. In: REUNION DE LA ASOCIACIÓN LATINOAMERICANA DE PRODUCCIÓN ANIMAL, 19, 2005b. Tampico. **Anais...** Tampico: ALPA, 2005b. 1 CD-ROM.

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

BERNARDES, T. F. *et al.* Avaliação da queima e da adição de milho desintegrado com palha e sabugo na ensilagem de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa-MG, v. 36, p. 269-275, 2007.

CASTRO, P. R. C.; KLUGE, R. A. (Ed.). **Ecofisiologia de culturas extrativas**. Cana-de-açúcar, seringueira, coqueiro, dendezeiro e oliveira. Cosmópolis: Stoller do Brasil, 2001. 138 p.

CAVALI, J. *et al.* Silagem de cana-de-açúcar tratada com óxido de cálcio: composição bromatológica e perdas. In: REUNIÃO ANUAL DA

SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 43, 2006, João Pessoa.
Anais... João Pessoa: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2006. (CD-ROM).

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento de safra brasileira: cana-de-açúcar, segundo levantamento, agosto/2011** - Companhia Nacional de Abastecimento. – Brasília : Conab 2011. Disponível em:
<http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_08_30_13_41_19_boletim_cana_portugues_-_agosto_2011_2o_lev..pdf> Acesso em: 10 out. 2011.

DANNER, H. *et al.* Acetic acid increases stability of silage under aerobic conditions. **Applied and Environmental Microbiology**, [s.l.], v. 69, p. 562-567, 2003.

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-MG, v. 38, n. 1, p. 20-26, 2009.

EZEQUIEL, J. M. *et al.* Processamento da cana-de-açúcar: Efeitos sobre a Digestibilidade, o consume e a Taxa de Passagem. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa-MG, v. 34, n. 5, p. 1704-1710, 2005.

FREITAS, A. W. P. *et al.* Avaliação da qualidade nutricional da silagem de cana-de-açúcar com aditivos microbianos e enriquecida com resíduo da colheita de soja. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa-MG, v. 35, n. 1, p. 38-47, 2006.

GENTIL, R. S. *et al.* Digestibilidade aparente de dietas contendo silagem de cana-de-açúcar tratada com aditivo químico ou microbiano para cordeiros. **Acta Scientiarum-Animal Sciences**, Maringá, v. 29, n. 1, p. 63-69, 2007.

GUIMARÃES Jr. *et al.* Cinética de fermentação ruminal de silagens de milho. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte-MG, v. 60, p. 1174-1180, 2008.

JUNQUEIRA, M. C. **Aditivos químicos e inoculantes microbianos em silagens de cana-de-açúcar: perdas na conservação, estabilidade aeróbia**

e o desempenho de animais. 2006. 98 p. Dissertação (Mestrado em ciência animal e pastagens) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

KLEINSCHMIDT, D. H.; KUNG JUNIOR, L. A meta-analysis of the effects of *Lactobacillus buchneri* on the fermentation and aerobic stability of corn and grass and small-grain silages. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 89, n. 10, p. 4005-4013, 2006.

KUNG Jr, L.; STOKES, M.R.; LIN, C.J. Silage additives. In: BUXTON, D. R.; MUCK, R. E.; HARRISON, J. H. (Eds.) **Silage science and technology**. Madison: American Society of Agronomy, 2003. p. 251-304.

LOPES, J.; EVANGELISTA, A. R.; ROCHA, G. P. Valor nutricional da silagem de cana-de-açúcar acrescida de ureia e aditivos absorventes de umidade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa-MG, v. 36, n. 4, p. 1155-1161, 2007. Suplemento.

MAGALHAES, A. L. R. *et al.* Cana-de-açúcar em substituição à silagem de milho em dietas para vacas em lactação: parâmetros digestivos e ruminais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa-MG, v. 35, n. 2, p. 591-599, 2006.

MALDONADO, J. G. M. **Associação de aditivos químicos e microbianos no controle da fermentação e estabilidade aeróbia em silagens de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.)**. 2007. 99 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Ciência Animal e Pastagem) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2007.

MANZANO, R. P.; PENATI, M. A.; NUSSIO, L. G. Cana-de-açúcar na alimentação de bovinos. In: **Apostila do curso de especialização em produção de ruminantes pastagens e forragens suplementares**, Piracicaba – SP: FEALQ, 2004 (Folheto técnico).

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

MAURÍCIO, R. M. *et al.* Potencial da técnica *in vitro* semiautomática de produção de gases para avaliação de silagens de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.)

Moench). **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa-MG, v. 32, p. 1013-1020, 2003.

McDONALD, P.; HENDERSON, A. R.; HERON, S. J. E. **The biochemistry of silage**. 2. ed. Marlow: Chalcombe Publications, 1991. 340 p.

MENDES, C. Q. *et al.* Efeito do *Lactobacillus buchneri* na fermentação, estabilidade aeróbia e no valor nutritivo de silagem de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa-MG, v. 37, n. 12, p. 2191-2198, 2008.

MINSON, D. J. **Forage in ruminant nutrition**. San Diego, CA: Academic Press, 1990. 482 p.

MOLINA, L. R. *et al.* Padrão de fermentação da silagem de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) submetida a diferentes tratamentos In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 39, 2002, Recife. **Anais...** Recife: SBZ, 2002. CD-ROM.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requirements of dairy cattle**. 7.ed. rev. Washington: National Academy of Science, 2001. 408 p.

NUSSIO, L, G. *et al.* Estratégias para garantir eficiência na utilização de cana-de-açúcar para ruminantes. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, João Pessoa, v.3, n.4, p.27-33, dez. 2009.

NUSSIO, L. G.; SCHMIDT, P. Silagens de cana-de-açúcar para bovinos leiteiros: aspectos agrônômicos e nutricionais. In: VISÃO TÉCNICA E ECONÔMICA DA PRODUÇÃO LEITEIRA, 2005, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 2005. p.193-218.

NUSSIO, L. G, SCHMIDT, P,; QUEIROZ, O. C. M.; Alternativas de uso e manejo de cana-de-açúcar para bovinos. In SIMPÓSIO GOIANO SOBRE MANEJO E NUTRIÇÃO DE BOVINOS DE CORTE, 7, 2005. Goiânia. **Anais...**Goiânia: CBNA, 2005. p. 299-321.

OUDE ELFERINK, S.J.W.H. *et al.* Anaerobic conversion of lactic acid to acetic acid and 1,2-propanediol by *Lactobacillus buchneri*. **Applied and Environmental Microbiology**, [s.l.], v. 67, p. 125–132, 2001.

PEDROSO, A. F. **Aditivos químicos e microbianos como inibidores da produção de etanol em silagens de cana-de-açúcar (*Saccharum offinarum* L.)**. 2003. 120 p. Tese (Doutorado em agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

PEDROSO, A. F. *et al.* Fermentation parameters, quality and losses in sugarcane silages treated with chemical additives and a bacterial inoculant. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa-MG, v. 40, n. 11, p. 2318-2322, 2011.

PEDROSO, A. F. *et al.* Performance of dairy cows fed rations produced with sugarcane silages treated with additives or fresh sugarcane. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa-MG, v. 39, n. 9, p. 1889-1893, 2010.

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-MG, v. 36, n. 3, p. 558-564, 2007.

PEDROSO, A.F. *et al.* Performance of Holstein heifers fed sugarcane silages treated with urea, sodium benzoate or *Lactobacillus buchneri*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 4, p. 649-654, 2006.

PEDROSO, A. F. *et al.* Fermentation and epiphytic microflora dynamics in sugar cane silage. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 62, p. 427-432, 2005.

PEREIRA FILHO, J. M. *et al.* Efeito do Tratamento com Hidróxido de Sódio sobre a Fração Fibrosa, Digestibilidade e Tanino do Feno de Jurema-Preta (*Mimosa tenuiflora*. Wild). **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa-MG, v. 32, n. 1, p. 70-76, 2003.

PEREZ, J. R. O leite como ferramenta do monitoramento nutricional. In: GONZÁLEZ, F. H. D.; DURR, J. W.; FONTANELI, R. S. (Ed.) **Uso do**

leite para monitorar a nutrição e o metabolismo de vacas leiteiras. Porto Alegre: UFRGS, 2001. p. 30-45.

QUEIROZ, O. C. M. *et al.* Silagens de cana-de-açúcar comparada a fontes tradicionais de volumosos suplementares no desempenho de vacas de alta produção. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa-MG, v. 37, n. 2, p. 358-365, 2008.

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

REZENDE, A. V. *et al.* Perdas fermentativas e estabilidade aeróbica de silagens de cana-de-açúcar tratadas com cal virgem e cloreto de sódio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa-MG, v. 40, n. 4, p. 739-746, 2011.

RIBEIRO, L. S. O. *et al.* Composição química e perdas fermentativas de silagem de cana-de-açúcar tratada com ureia ou hidróxido e sódio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa-MG, v. 39, n. 9, p. 1911-1918, 2010.

ROMAM, J. *et al.* Composição física da carcaça e características da carne de bovinos de corte terminados em confinamento com diferentes dietas. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte-MG, v. 62, n. 6, p. 1430-1438, 2010.

ROTH, A. P. T. P. *et al.* Cana-de-açúcar ensilada com aditivos em diferentes tempos após a queima. . In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 43, 2006, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2006. CD-ROM.

ROTH, M.T.P. *et al.* Ensilagem da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) tratada com doses de uréia. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 42, 2005, Goiânia. **Anais...** Goiânia: UFG/SBZ, 2005. 1 CD-ROM.

SANTOS, M. C. *et al.* Nutritive value of sugarcane silage treated with chemical additives. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 66, n. 2, p. 159-163, 2009.

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-MG, v. 37, n. 9, p. 1555-1563, 2008.

SANTOS, R. V. *et al.* Composição química da cana-de-açúcar (*Saccharum SPP.*) e das silagens com diferentes aditivos em duas idades de corte. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 6, p. 1184-1189, 2006.

SCHMIDT, P. *et al.* Novos aditivos microbianos na ensilagem da cana-de-açúcar: composição bromatológica, perdas fermentativas, componentes voláteis e estabilidade aeróbia. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa-MG, v. 40, n. 3, p. 543-549, 2011.

SCHMIDT, P. *et al.* Aditivos químicos e biológicos na ensilagem de cana-de-açúcar. 1. Composição química das silagens, ingestão, digestibilidade e comportamento ingestivo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa-MG, v. 36, n. 5, p.1666-1675, 2007. Suplemento.

SENGER, C. C. D. *et al.* Comparação entre os métodos químico, *in situ* e *in vitro* para estimativa do valor nutritivo de silagens de milho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 3, p. 835-840, 2007.

SILVA, E. J. A. *et al.* Efeitos do teor de carboidratos solúveis sobre as características da silagem de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa-MG, v. 37, n. 8, p. 1375-1382, 2008.

SIQUEIRA, G. R. **Aditivos na silagem de cana-de-açúcar “in natura” ou queimada**. 2009. 107 p. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2009.

SIQUEIRA, G. R. *et al.* Perfil fermentativo de silagens de cana-de-açúcar *in natura* ou queimada e tratadas ou não com *Lactobacillus buchneri*. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa-MG, v. 40, n. 8, p. 1651-1661, 2011.

SIQUEIRA, G. R. *et al.* Associação entre aditivos químicos e bacterianos na ensilagem de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa-MG, v. 36, n. 4, p. 789-798, 2007a.

SIQUEIRA, G. R. *et al.* Perdas de silagens de cana-de-açúcar tratadas com aditivos químicos e bacterianos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa-MG, v. 36, p. 2000-2009, 2007b.

SIQUEIRA, G. R. *et al.* A produção de volumosos conservados como componente do sistema de produção de bovinos de corte. In: LADEIRA et al. (Eds) **V Simpósio de pecuária de corte: alternativas para os novos desafios**. Lavras: UFLA/NEPEC, 2007c. p.165-227.

SOUSA, D. P. **Avaliação de aditivos químicos e microbianos como inibidores da síntese de etanol em silagens de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.)**. 2006. 142 p. Tese (Doutorado em agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

SOUSA, D. P. *et al.* Avaliação das perdas por efluentes e gases em silagens de cana-de-açúcar aditivadas com inoculantes químicos e bacterianos. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 42, 2005, Goiânia. **Anais...** Goiânia: SBZ, 2005. 1 CD- ROM.

TAYLOR, C. C.; KUNG Jr., L. The effect of *Lactobacillus buchneri* 40788 on the fermentation and aerobic stability of high moisture corn in laboratory silos. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 85, p. 1526-1532, 2002.

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.

THIAGO, L. R. L.; VIEIRA, J. M. Cana-de-açúcar: uma alternativa de alimento para a seca.: Embrapa Gado de Corte, 2002. (Comunicado Técnico nº 73) Disponível em: <
<http://www.cnpqg.embrapa.br/publicacoes/cot/COT73.html>> Acesso em: 20 ago. 2012

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

VAN SOEST, P. J, ROBERTSON, J. B, LEWIS, B. A. Methods for dietary fiber, neutral detergent, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 74, n. 10, p. 3583-3597, 1991.

WALKER, G. M. **Yeast physiology and biotechnology**. London: Wiley Editorial Offices, 1998. 350 p.

WILLIAMS, B. A. Cumulative Gas production Techniques for Forage Evaluation. In: GIVENS, D.I, OWEN, E, OMED, H.M. *et al.* (eds.). **Forage Evaluation in Ruminant Nutrition**. Wallingford: CAB International, 2000. p. 475.

CAPÍTULO II

CARACTERÍSTICAS FERMENTATIVAS DE SILAGENS DE CANA-DE-AÇÚCAR COM ADITIVOS

RESUMO

ROCHA, Wéder Jânsen Barbosa. **Características fermentativas de silagens de cana-de-açúcar ensiladas com aditivos**. 2012. Cap. II, p. 30-59. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Estadual de Montes Claros, MG.¹

Objetivou-se com esta pesquisa avaliar as características fermentativas de silagens de duas variedades de cana-de-açúcar com diferentes aditivos. O experimento foi conduzido no Departamento de Ciências Agrárias da UNIMONTES, Campus de Janauba-MG. Utilizou-se 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*) com três repetições e um tratamento sem aditivo por ambas as variedades, com a abertura dos silos sendo feita aos 60 dias da ensilagem. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias dos tratamentos (silagens com aditivos) foram comparados pelo teste de Scott-Knott, as médias de variedades pelo teste “F” e a testemunha (silagem sem aditivo) em relação aos demais tratamentos foram comparados pelo teste de Dunnett, ao nível de 5% de probabilidade. Os aditivos NaOH e CaO propiciaram reduções nas perdas por gases e efluentes das silagens de cana-de-açúcar. A variedade IAC 86 2480 apresentou melhor índice de recuperação de matéria seca. Os aditivos NaOH e *L. buchneri* reduziram a atividade de água na variedade IAC 86 2480. O milho e *L. buchneri* propiciaram menores valores de pH. A adição de ureia elevou significativamente os valores de nitrogênio amoniacal. As silagens aditivadas com NaOH e CaO apresentaram elevados teores de ácido lático e baixos teores de etanol. Os teores de ácido acético em porcentagem da matéria seca foram elevados. Já o ácido propiônico e o butírico encontram-se dentro da faixa ideal para o processo fermentativo. A utilização dos aditivos NaOH e CaO resultou em uma silagem com boas características fermentativas e a melhor variedade para o processo de ensilagem foi a IAC 86 2480.

¹ **Comitê de Orientação:** Prof. Dr. Vicente Ribeiro Rocha Júnior – Departamento de Ciências Agrárias/UNIMONTES (Orientador); Prof. Dr. Sidnei Tavares dos Reis – Departamento de Ciências Agrárias/UNIMONTES (Coorientador).

ABSTRACT

ROCHA, Weder Jansen Barbosa. **Fermentation characteristics of two varieties of sugar cane ensiled with different additives**. 2012. Chapter II, p. 30-59. 2012. Dissertation (Master's degree in Animal Science) – Universidade Estadual de Montes Claros, MG.¹

The objective of this study was to evaluate the fermentation characteristics of silages of two varieties of sugar cane with different additives. The experiment was carried out at Department of Agricultural Sciences UNIMONTES, Campus Janauba-MG. It was used a completely randomized design with a factorial 2 x 5, being two varieties of sugar cane (RB 86 7515 and IAC 86 2480) and five additives (urea, NaOH, CaO, corn and *L. buchneri*) with three replications and one treatment without additive for each variety, with the opening of the silos at 60 days after ensiling. Data were subjected to analysis of variance and treatment means (silages with additives) were compared by Scott-Knott test, varieties means by "F" test and the control (silage without additive) in relation to the other treatments were compared by Dunnett test, at 5% level of probability. The additives NaOH and CaO reduced the loss of gas and effluent of the sugar cane silages. The IAC 86 2480 variety showed the best rate of dry matter recovery. The additives NaOH and *L. buchneri* reduced water activity in IAC 86 2480. Corn and *L. buchneri* provided the lowest pH values. The addition of urea significantly elevated values of ammonia nitrogen. The silages with NaOH and CaO showed high levels of lactic acid and low ethanol contents. The acetic acid levels in percentage of dry matter were high. However, propionic and butyric acid are within the ideal range for the fermentation process. The use of NaOH and CaO additives resulted in a silage with good fermentation characteristics and the IAC 86 2480 variety was the best one for silage process..

¹**Guidance committee:** Prof. Dr. Vicente Ribeiro Rocha Júnior – Department of Agrarian Sciences /UNIMONTES (Adviser); Prof. Dr. Sidnei Tavares dos Reis – Department of Agrarian Sciences/UNIMONTES (Co-adviser).

1 INTRODUÇÃO

No Brasil as pastagens representam a principal fonte de volumosos para os ruminantes. No entanto, no período das secas essas reduzem o seu valor nutritivo significativamente, refletindo em baixa produção de leite e ou carne (FERNANDES *et al.*, 2003). A principal forma de utilização da cana é a *in natura*, prática já consolidada pelos produtores (SIQUEIRA *et al.*, 2007a). Entretanto, esse manejo dificulta a alimentação de grandes rebanhos, demanda muita mão de obra e o manejo do canavial fica prejudicado, tanto pela rebrota desuniforme quanto pela dificuldade de tratamentos culturais no talhão, dentre outros pontos.

Atualmente existem no mercado inúmeras variedades de cana-de-açúcar. Os lançamentos dessas visam principalmente a sua utilização na indústria. Sabe-se que as variedades indicadas para indústria são também recomendadas para alimentação animal, porém é interessante conhecer as características químicas bromatológica e fermentativas de cada variedade para potencialização do seu uso na nutrição animal.

A conservação deste volumoso através da ensilagem concentra as atividades de corte em um único período, favorece o manejo alimentar dos animais e promove uma maior longevidade do canavial.

A cana-de-açúcar apresenta elevado teor de carboidratos solúveis somada a uma rica microflora epífita, o que leva a uma produção majoritária de etanol. Esta rota fermentativa desencadeia uma série de alterações químicas na silagem; como perdas de matéria seca e efluentes, afetando o seu valor nutritivo e aceitabilidade pelos animais (NUSSIO *et al.*, 2005).

A utilização de aditivos, dependendo de suas características, no processo de ensilagem tem como princípio alterar a rota fermentativa predominante do processo de fermentação anaeróbica alcoólica e preservar ao máximo o valor nutritivo da forrageira.

Assim, objetivou-se por meio desta pesquisa avaliar as características fermentativas de silagens de duas variedades de cana-de-açúcar com diferentes aditivos.

2 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, 43°20'05" de Longitude Oeste. Apresenta 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 tipo de clima predominante na região é o Aw (ANTUNES, 1994).

Utilizou-se um delineamento experimental inteiramente casualizado com esquema fatorial 2 x 5, sendo duas variedades de cana-de-açúcar (IAC 86 2480 e RB 86 7515), e cinco aditivos (ureia, NaOH, CaO, milho grão moído e *Lactobacillus buchneri*) com três repetições. Para cada variedade foi utilizado um tratamento-controle, ou seja, a silagem sem aditivo.

Foram avaliadas as variedades de cana IAC 86 2480 e RB 86 7515 ,que foram picadas em partículas de 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, 5% milho moído. Quanto ao inoculante, foi utilizada a cepa NCIMB 40788 do Inoculante comercial silo Max® na dose de $2,5 \times 10^{10}$ UFC g⁻¹ de forragem. Foram utilizados silos experimentais cilíndricos de PVC, de pesos conhecidos, com 40 centímetros de comprimento e 10 centímetros de diâmetro. No fundo dos silos, continham 10 cm de areia seca, separada da forragem por uma tela de sombrite para quantificação do efluente produzido. Após a completa homogeneização da forragem com os aditivos, a mesma foi depositada nos silos e compactada com auxílio de um êmbolo de madeira. Para cada tratamento quantificou-se a densidade da silagem e para cada variedade, aproximadamente 3 kg do material picado foram amostrados como forragem fresca. Essas amostras foram acondicionadas em saco plástico, identificadas e congeladas para análises posteriores da forragem original. Após o

enchimento, os silos foram fechados com tampas de PVC dotados de válvula tipo *Bunsen*, vedados com fita adesiva e pesados em seguida. Os silos foram armazenados nas dependências do Laboratório de Análises de Alimentos da UNIMONTES, mantidos à temperatura ambiente com a abertura sendo feita aos 60 dias após a ensilagem. Antes da abertura, os silos foram novamente pesados, para determinação das perdas por gases. Após a retirada da forragem, o conjunto contendo silo, areia, tela e fita foram pesados para quantificação do efluente produzido.

A determinação da perda gasosa foi calculada pela seguinte fórmula, segundo metodologia descrita por Schimdt (2006):

$$G = \frac{[(PCen - Pen) * MSen] - [(PCab - Pen) * MSab]}{[(PCen - Pen) * MSen]} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

G = Perdas por gases em % da MS;

PCen = Peso do silo cheio na ensilagem (kg);

Pen = Peso do conjunto (silo + tampa + areia + tela + fita adesiva) na ensilagem (kg);

MSen = Teor de MS da forragem na ensilagem (%);

PCab = Peso do silo cheio na abertura (kg);

MSab = Teor de MS da forragem na abertura (%).

As perdas por efluentes seguiram a metodologia de Schimdt (2006):

$$E = \frac{(Pab - Pen) \times 1000}{(MVfe)} \quad (2)$$

Em que:

E = Produção de efluente (kg t⁻¹ de massa verde);

Pab = Peso do conjunto (silo + areia + fita adesiva + tela) na abertura (kg);

Pen = Peso do conjunto (silo + areia + pano + fita adesiva) na ensilagem (kg);

MVfe = Massa verde de forragem ensilada (kg).

O índice de recuperação de matéria seca (RMS) foi calculado pela equação apresentada por Paziani *et al.*, (2006):

$$\text{RMS} = ((\text{MFab} \times \text{MSab}) / (\text{MFfe} \times \text{MSfe})) * 100. \quad (3)$$

Sendo que:

RMS = índice de recuperação de matéria seca;

MFab = massa de forragem na abertura;

MSab = teor de MS na abertura;

MFfe = massa de forragem no fechamento;

Msfe = teor de MS da forragem no fechamento.

Ao se retirar a silagem de cada silo, procedeu-se à homogeneização do material, onde uma parte foi prensada com auxílio de uma prensa hidráulica para extração do “suco”. No suco da silagem imediatamente após a extração, foram determinados os valores de pH utilizando-se potenciômetro digital, e o nitrogênio amoniacal (N-NH₃), por destilação com óxido de magnésio e cloreto de cálcio, empregando solução receptora de ácido bórico e titulação com ácido clorídrico a 0,1 N. Dez mililitros desse “suco” foram acondicionados em recipientes contendo 2 mL de ácido metafosfórico e congelados para a avaliação dos teores de ácidos orgânicos (lático, acético, propiônico e butírico) e de etanol pela técnica de cromatografia gasosa. Uma pequena amostra da silagem foi retirada para determinação da atividade de água (AW) pelo método de Lutz (1985). O restante da silagem foi pré-seco em estufa de ventilação forçada a 55 °C até peso constante. Na sequência, a silagem pré-seca foi moída em moinho Tipo Wiley em peneiras de 1 mm e armazenada em potes plásticos devidamente identificados. A forragem pré-seca foi então analisada quanto aos conteúdos de MS a 105 °C e proteína bruta (PB) pelo método Kjeldhal (SILVA & QUEIROZ, 2006). Os dados de nitrogênio total foram utilizados no cálculo da porcentagem de nitrogênio amoniacal como proporção do nitrogênio total (N-NH₃/NT).

Na Tabela 1 é apresentada a composição química das duas variedades de cana-de-açúcar na forma *in natura*, determinada segundo metodologias descritas por Silva & Queiroz (2006).

TABELA 1 Composição química de duas variedades de cana-de-açúcar *in natura*

Itens	IAC 86 2480	RB 86 7515
Matéria Seca	26,12	28,62
Proteína Bruta	1,26	3,60
Fibra em Detergente Neutro	36,79	41,32
Fibra em Detergente Ácido	21,59	23,69
Hemicelulose	17,63	15,19
Celulose	17,22	17,93
Lignina	6,98	6,85
Extrato Etéreo	1,88	2,01
Cinzas	3,81	3,22
Carboidratos não Fibrosos	51,73	54,38

Os dados foram submetidos à análise de variância, e quando a mesma apresentou significância, as médias dos tratamentos (silagens com aditivos) foram comparadas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. As médias de variedades foram comparadas pelo teste “F”. Com relação à testemunha (silagens sem aditivos), as médias foram comparadas pelo Teste de Dunnett a 5% de probabilidade.

A análise de variância e o teste de Scott-Knott foram realizados por meio do programa SISVAR (FERREIRA, 2000). Para aplicação do teste Dunnett utilizou o *Software SAS* (SAS INSTITUTE, 2000).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os teores de matéria seca (MS) das silagens diferiram ($P<0,05$) para as diferentes variedades e aditivos utilizados. Na variedade RB 86 7515, as silagens com NaOH e CaO apresentaram maiores teores de MS, seguida pela silagem aditivada com milho grão moído, e os menores teores de MS foram verificados nas silagens com ureia e *Lactobacillus buchneri*. Já na variedade IAC 86 2480, os maiores teores de MS foram encontrados nas silagens com NaOH, CaO e milho, seguidas pelas silagens com ureia e *L. buchneri*, que tiveram os menores valores ($P<0,05$). A diferença entre variedades para o teor de MS foi constatado nas silagens acrescidas com milho moído e nas silagens sem aditivos, sendo a variedade IAC 86 2480 a que apresentou maiores teores de MS (Tabela 2).

Comparando-se as silagens com aditivos às silagens sem aditivos, observaram-se diferenças nos teores de MS em relação aos tratamentos com NaOH, CaO e milho, para as duas variedades estudadas (Tabela 2).

TABELA 2 Valores médios de matéria seca (% MS) e coeficiente de variação (CV) de silagens de duas variedades de cana-de-açúcar com diferentes aditivos

Aditivos	Variedades	
	RB 86 7515	IAC 86 2480
Ureia	22,79 Ac	24,05 Ab
NaOH	28,92 Aa*	28,58 Aa*
CaO	28,21 Aa*	27,26 Aa*
Milho	25,08 Bb*	28,28 Aa*
<i>Lactobacillus buchneri</i>	22,09 Ac	22,95 Ab
Controle	20,94 B	23,55 A
CV (%)	3,44	

Médias seguidas por letras distintas, maiúsculas na linha e minúscula na coluna, diferem, respectivamente, pelos testes F e Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade. Médias com asterisco diferem do tratamento-controle pelo teste de Dunnett ao nível de 5% de probabilidade.

Os valores médios para os teores de MS das canas *in natura*, RB 86 7515 e IAC 86 2480 foram de 28,62 e 26,12%, respectivamente (Tabela 1). Comparando estes valores com os das silagens aditivadas e das silagens sem aditivos, verifica-se redução nos teores de MS, sendo que as maiores variações foram observadas para as silagens sem aditivos, aditivadas com ureia e as aditivadas com o *L. buchneri*.

As silagens com os aditivos NaOH e CaO apresentaram maiores valores de MS, possivelmente pelo efeito inibidor sobre a população de leveduras que degradam a MS da silagem. E com relação ao aditivo milho, a explicação está no fato deste apresentar um alto teor de MS e um alto nível de inclusão (5%), o que contribui para elevação deste teor na silagem.

Os menores valores de MS da silagem RB 86 7515 sem aditivos em comparação à silagem da IAC 86 2480 deve-se, provavelmente, a uma maior atividade de leveduras nesta silagem, o que pode ser justificado pela maior redução de MS verificada nesta variedade em relação à cana *in natura*. Os valores de matéria seca obtidos nesta pesquisa variaram de 20,94 a 28,92% e foram próximos aos reportados por Pedroso *et al.* (2007), de 26,4%, e Queiroz (2006), de 23,1%, mas foram inferiores aos reportados por Siqueira *et al.* (2007a), de 35,0% MS, que avaliaram também silagem de cana com aditivos.

Pedroso *et al.* (2005) também verificaram redução de MS no material ensilado em relação ao material original, aliando tal redução com a perda de MS decorrente do processo fermentativo. Ávila (2007) também percebeu que, devido ao alto crescimento de leveduras em silagens de cana-de-açúcar, as perdas de MS durante a ensilagem desta forrageira podem resultar do intenso metabolismo desses microrganismos. Segundo McDonald *et al.* (1991), a produção de etanol pelas leveduras é acompanhada pela perda acentuada de MS dos substratos na forma de CO₂, além da perda de etanol por volatilização, assim, redução nos teores de MS é indicativo de perdas durante a fermentação. De acordo com Freitas *et al.* (2006), a adição de um

produto com alto teor de MS funciona como um aditivo absorvente, elevando o teor de MS do material ensilado, o que torna o ambiente menos favorável para o desenvolvimento das leveduras. O tratamento químico com hidróxido de sódio e óxido de cálcio tem sido utilizado para quebrar o composto lignocelulósico das forragens e aumentar proporcionalmente seus componentes nutritivos, reduzindo as perdas de MS (PEREIRA FILHO *et al.*, 2003). Quanto ao efeito nas reduções de perdas de matéria seca estes aditivos mostraram ser eficientes.

Verificou-se efeito de interação ($P < 0,05$) de variedade de cana-de-açúcar com aditivos para perdas por gases e efluentes. Em relação às perdas por gases, entre variedades, observa-se que houve diferença na silagem com ureia, milho e *L. buchneri*, tendo as maiores perdas a variedade RB 86 7515. Sobre efeitos dos aditivos dentro de cada variedade, verificou-se que, em ambas, os maiores valores para as perdas por gases foram para os tratamentos compostos pela ureia, e *Lactobacillus buchneri*. As menores perdas por gases em porcentagem da MS inicial foram verificadas nas silagens com NaOH e CaO em ambas as variedades (Tabela 3).

As silagens sem aditivos foram diferentes entre si ($p < 0,05$) e revelaram maiores perdas por gases em comparação às silagens aditivadas com NaOH e CaO, em ambas as variedades. Na IAC 86 2480 (silagem sem aditivos), as perdas por gases foram ainda superiores à silagem com o aditivo milho. A variedade IAC 86 2480 apresentou menores perdas por gases do que a RB 86 7515.

Para as perdas por efluentes, entre variedades, a silagem da RB 86 7515 aditivada com ureia e *L.buchneri* obteve maiores valores que a variedade IAC 86 2480. No entanto, a silagem da IAC 86 2480, com o aditivo milho, apresentou maior perda em comparação a RB 86 7515. Quanto aos aditivos, numa mesma variedade, observou-se que na RB 86 7515 as menores perdas de efluentes foram para as silagens aditivadas com CaO seguidos das silagens com NaOH e o milho. Já para a IAC 86 2480 as menores perdas se deram apenas com as silagens aditivadas com CaO e

NaOH. Com relação às silagens sem aditivos, verifica-se para a RB 86 7515 valores superiores aos das silagens com os aditivos CaO e NaOH. Na silagem da IAC 86 2480, apenas a silagem com o aditivo milho não diferiu da silagem sem aditivo.

TABELA 3 Valores médios de perdas por gases em porcentagem da MS inicial, perdas por efluentes (kg t^{-1} de massa verde) e índice de recuperação de matéria seca (% MS) e coeficiente de variação (CV) de silagens de duas variedades de cana-de-açúcar com diferentes aditivos

Aditivos	PG (% MS)		PE ($\text{kg t}^{-1}\text{MV}$)		IRMS (% MS)	
	RB	IAC	RB	IAC	RB	IAC
	867515	862480	867515	862480	867515	862480
Ureia	24,23Aa	10,59Ba	96,89Aa	82,05Ba*	68,06Bc	81,86Ab
NaOH	4,49Ac*	0,10Ab*	46,07Ac*	47,47Ab*	91,38Ba*	99,20Aa*
CaO	3,60Ac*	2,03Ab*	32,39Ad*	29,06Ac*	93,20Aa*	99,0Aa*
Milho	16,81Ab	0,32Bb*	65,53Bb	86,34Aa	77,43Bb*	96,18Aa*
<i>L.buchneri</i>	26,82Aa	15,12Ba	92,18Aa	82,66Ba*	66,07Bc	77,60Ab
Controle	30,52A	26,82B	104,14A	107,31A	61,86B	77,88A
CV (%)	38,55		11,73		5,02	

Médias seguidas por letras distintas, maiúsculas na linha e minúscula na coluna, diferem, respectivamente, pelos testes F e Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade. Médias com asterisco diferem do tratamento-controle pelo teste de Dunnett ao nível de 5% de probabilidade.

PG Perdas por gases; PE Perdas por efluentes; IRMS Índice de recuperação de matéria seca.

Os valores médios para o índice de recuperação da matéria seca estão demonstrados também na Tabela 3. A variedade IAC 86 2480 apresentou os maiores valores, não diferindo da variedade RB 86 7515 ($P>0,05$) apenas no tratamento com o óxido de cálcio.

De acordo com Queiroz (2006), no caso do NaOH, a baixa perda por gases deve estar associada à inibição do crescimento de bactérias presentes no silo que utilizariam o açúcar da cana para se desenvolver. Este fato pode ser confirmado na Tabela 2, onde os valores de MS mantiveram-se próximos aos da cana *in natura*. Possivelmente os aditivos CaO e o milho tiveram

também algum efeito sobre a população de certos micro-organismos. O aditivo milho pelo que se observou foi eficiente, contudo esta maior eficiência foi observada na cana IAC 86 2480, onde a população de micro-organismos pode ser menor. Resultados de controle de perdas por gases foram observados por Siqueira *et al.* (2004) em um trabalho de avaliação da silagem da cana-de-açúcar crua e queimada, tratada com seis aditivos (controle, ureia 1,5%, benzoato de sódio 0,1%, NaOH 1%, Proprio lac e Laisil Cana), que comprovaram a eficiência do NaOH na redução das perdas por gases. Quanto ao CaO, Amaral *et al.* (2009) verificaram que este tratamento químico foi eficiente em reduzir a produção de etanol, o que é desejável, além de reduzir as perdas gasosas.

Os resultados obtidos para as perdas de MS por gases estão dentro do que se observa na literatura, contudo dados muitos divergentes são encontrados. Segundo Queiroz (2006), a grande variação nesses resultados está em função de inúmeras variáveis poderem alterar a perda gasosa, entre elas o tipo de fermentação, o teor de MS, teor de carboidratos e até mesmo a presença e o tipo de aditivos bacterianos inoculados na silagem. Junqueira (2006), avaliando silagens de cana com *L. buchneri*, constatou perdas de 14,97%, enquanto silagens tratadas com ureia (1% da matéria verde) apresentaram perdas gasosas de 15,98%, e na silagem-controle esse valor foi de 22,19%. Os valores obtidos por Pedroso (2003) são inferiores aos relatados neste experimento; no entanto, aquele autor encontrou perdas gasosas máximas de 15% em silagem de cana-de-açúcar sem aditivo após 90 dias de ensilagem, bem inferior ao observado neste estudo, o que poderia justificar em parte as divergências.

A baixa perda de efluentes para o CaO pode ser explicada pela natureza absorvente da cal, uma vez que para que ocorra a reação da cal é necessário 1 mol de H₂O para cada mol de CaO, ou seja, para cada 56 gramas de cal são necessários 18 gramas de água (MORAES *et al.*, 2006).

Os valores obtidos para as silagens aditivadas com CaO e NaOH estão de acordo com dados da literatura. Siqueira *et al.* (2007b), em silagem

de cana-de-açúcar, registrou perdas por efluentes de 58,15 kg t⁻¹ de MV. Schmidt (2006), em pesquisa com cana-de-açúcar colhida aos 18 meses de idade e ensilada sem aditivo ou com ureia, encontrou produção de efluente oscilando entre 35,6 e 42,5 kg t⁻¹ de MV. A perda por efluente ocorreu em função de a cana-de-açúcar apresentar baixa retenção de umidade quando compactada.

Entretanto, cabe ressaltar que a quantidade que se perde por efluente ao se ensilar cana-de-açúcar implica a necessidade de aditivos com o intuito de reduzir a umidade da cana-de-açúcar e, conseqüentemente, minimizar as perdas por efluente. Vale salientar ainda que os valores constatados neste estudo estão altos em comparação a outros estudos (PEDROSO *et al.*, 2005; SIQUEIRA *et al.*, 2007a). Pedroso *et al.* (2005) observaram produção de efluente de 13,3 kg t⁻¹ MV em silagens de cana-de-açúcar aos 90 dias de armazenagem.

Os aditivos que propiciaram os maiores índices de recuperação de MS (Tabela 3) foram o NaOH e o CaO na cana RB 86 7515, e, além destes, o aditivo milho na variedade IAC 86 2480. Estes tratamentos foram eficientes na recuperação de MS em relação às silagens sem aditivos.

Os índices de recuperação de MS da cana IAC 86 2480 reforçam a hipótese de que as silagens desta variedade apresentaram uma menor ação danosa de micro-organismos indesejáveis. Analisando os resultados aqui apresentados aos de perdas por gases na Tabela 3, verifica-se uma tendência de que silagens com menores perdas por gases apresentam uma melhor recuperação da MS inicial, fato desejável em um processo de ensilagem.

Balieiro Neto *et al.* (2005), avaliando o efeito de doses de CaO em silagens de cana-de-açúcar, observaram perdas totais e recuperação de matéria seca de 20 e 80%, respectivamente, para as forragens tratadas com 2% de CaO. Seguindo a mesma tendência, Oliveira *et al.* (2004) encontraram recuperações de MS de 77% para as silagens de cana-de-açúcar acrescidas de 0,5% de cal hidratada, enquanto na silagem-controle perceberam recuperação de 72,1% da MS. Entretanto, a análise conjunta dos

dados de literatura e os resultados obtidos neste estudo comprovam que o tratamento de silagens de cana-de-açúcar com agentes alcalinizantes diminui as perdas totais e eleva a recuperação de MS.

Os valores referentes à atividade de água (Aw), potencial hidrogeniônico (pH) e nitrogênio amoniacal (N-NH₃/NT) estão dispostos na Tabela 3. Os valores de atividade de água entre variedades não diferiram (P>0,05). Quanto aos aditivos em uma mesma variedade, verificou-se que na variedade RB 86 7515, o milho e o *L. buchneri* obtiveram os maiores valores (P<0,05). Na variedade IAC 86 2480 os aditivos não se diferiram, e apenas nesta variedade foi observado diferença entre as silagens com aditivos e a silagem sem aditivo, sendo o NaOH e o *L. buchneri* os que apresentaram os menores valores (P<0,05).

TABELA 4 Valores médios de atividade de água (AW), pH, nitrogênio amoniacal em relação ao nitrogênio total (N-NH₃/NT %) e coeficientes de variação (CV) de silagens de duas variedades de cana-de-açúcar com diferentes aditivos

Aditivos	AW		pH		N-NH ₃ /NT(%)	
	RB 867515	IAC 862480	RB 867515	IAC 862480	RB 867515	IAC 86 2480
Ureia	0,98 Ab	0,99 Aa	3,59 Ac*	3,52 Ac*	2,39 Aa*	1,62 Ba*
NaOH	0,97 Ab	0,97 Aa*	4,39 Ab*	4,37 Ab*	0,98 Bb	1,34 Aa
CaO	0,97 Ab	0,98 Aa	4,61 Aa*	4,64 Aa*	0,77 Ab	0,95 Ab
Milho	0,99 Aa	0,98 Aa	3,28 Ad	3,23 Ad	0,86 Bb	1,24 Aa
<i>L.buchneri</i>	0,99 Aa	0,97 Aa*	3,24 Ad	3,25 Ad	1,08 Ab	0,94 Ab
Controle	0,98 A	0,99 A	3,29 A	3,28 A	0,65 A	0,86 A
CV (%)	0,72		1,57		17,02	

Médias seguidas de 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 diferem do tratamento-controle pelo teste de Dunnett (p<0,05)

Com relação aos valores de pH das silagens (Tabela 4) foi verificado efeito de aditivos. Os menores valores encontrados foram para as silagens aditivadas com milho e *L. buchneri* semelhantes às silagens sem aditivos, em ambas as variedades analisadas. Os demais tratamentos diferiram da testemunha ao nível de 5% de probabilidade.

Houve efeito de interação de variedades com aditivos para os valores de nitrogênio amoniacal (N-NH₃) (Tabela 4). As silagens da variedade RB 86 7515, com NaOH ou milho apresentaram menores valores de N-NH₃ que as silagens da IAC 86 2480, e o aditivo ureia na RB 86 7515 foi superior ao valor verificado para a silagem da IAC 86 2480. O maior valor observado entre aditivos na RB 86 7515 se deu para as silagens tratadas com ureia. Enquanto que nas silagens da variedade IAC 86 2480 os maiores valores foram para os aditivos ureia, NaOH e milho moído. Apenas as silagens que continham ureia diferiram (P<0,05) das silagens sem aditivo.

No campo da avaliação de alimentos ensilados, a Aw é de grande importância para a qualidade de fermentação durante a ensilagem e para a atividade microbológica durante a fase de utilização da silagem. Os microrganismos de uma forma geral são fundamentais no processo de fermentação de silagens e têm sua atividade largamente afetada pela Aw. Alguns trabalhos conduzidos no Brasil, com espécies tropicais, evidenciam valores relativamente elevados para a Aw em silagens de gramíneas (JOBIM *et al.*, 2007).

Nesse contexto, Castro *et al.* (2001) registraram valores de Aw entre 0,69 e 0,85 para silagem de Tifton 85. Enquanto Igarasi (2002) relatou valores de Aw superiores a 0,93 para silagem de capim-Tanzânia. Todavia, conforme McDonald *et al.* (1991), o crescimento de bactérias do gênero *Clostridium* é inibido com Aw abaixo de 0,94, enquanto que as bactérias ácido-láticas são menos sensíveis. Isso mostra que possivelmente nessas silagens pode ter ocorrido a presença dessas bactérias.

No Brasil, são poucos os trabalhos que têm contemplado a avaliação da atividade de água em materiais ensilados. Assim, a falta de informações referentes ao tema dificulta uma conclusão segura dos dados obtidos.

Hill & Leaver (2002), estudando a ensilagem da planta de trigo tratada com ureia (0, 2 e 4%), observaram elevação do pH de 3,87 para 4,07 e 4,28 com o aumento das doses. Nas silagens com ureia houve transformação desse composto em hidróxido de amônio, o que inibe a queda

do pH. O óxido de cálcio, assim como o hidróxido, também apresentou valores mais elevados, certamente pela característica alcalina desses aditivos. Os altos valores de pH obtidos para as silagens tratadas com óxido de cálcio estão de acordo com os observados na literatura.

Balieiro Neto *et al.* (2005), trabalhando com diferentes doses de óxido de cálcio em silagem de cana-de-açúcar, constataram elevação significativa dos valores de pH final (4,44 para as silagens com 1,0% de CaO e 3,66 para a silagem-controle). Cavali *et al.* (2006), ao adicionarem 1,0 e 1,5% de óxido de cálcio à silagem de cana-de-açúcar, observaram valores de 4,3 e 4,8, respectivamente. De acordo com Pedroso *et al.* (2007), silagens de cana-de-açúcar tratadas com agentes alcalinizantes geralmente apresentam pH superior ao nível máximo considerado adequado à estabilização de forragens ensiladas. A variação estatística entre os valores de pH encontrados nas silagens tem pouca importância biológica. Estudos confirmam que o pH não é um ponto crítico em silagens de cana-de-açúcar e tampouco indicador de qualidade fermentativa nesse material, uma vez que a produção de etanol mediada por leveduras ocorre mesmo sob pH inferior a 3,5 (McDonald *et al.*, 1991).

Os valores de nitrogênio amoniacal estão abaixo dos encontrados normalmente na literatura, em comparação aos das silagens de outras culturas, como milho (10,6% do N-NH₃/NT, ROTH *et al.*, 2004) e capim-marandu (6% do N-NH₃/NT, BERNARDES *et al.*, 2005). Evangelista *et al.* (2009), avaliando silagens de canas tratadas com milho desintegrado com palha e sabugo, registraram valores de N-NH₃/NT superiores aos das silagens-controle em todos os tempos (0, 1, 2, 3, 4, 5, 7, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 60, 70, 80, 90 e 100 dias após a ensilagem), o que pode estar associado à maior disponibilidade de proteína nessas silagens, permitindo o desenvolvimento de microrganismos que degradam essa fração do alimento. No entanto, os resultados encontrados na literatura são controversos, pois, em estudo realizado por Andrade *et al.* (2001), não foi observado efeito do

milho desintegrado com palha e sabugo sobre esse parâmetro. Neste estudo também não foi verificado efeito em relação à silagem-controle.

Bernardes *et al.* (2007), porém, observaram redução de 12 para 8% do N-NH₃/NT. Nessas silagens, a rápida ensilagem e adequada compactação e vedação dos silos de laboratório resultaram em baixa proteólise no material, produzindo silagens com baixas concentrações de N-NH₃/NT. O N-NH₃/NT reflete o grau de hidrólise proteica e, consoante Jobim & Gonçalves (2003), o N-NH₃ presente na silagem indica que ocorreu atividade dos clostrídios, uma vez que é produzida em pequenas quantidades pelas bactérias ácido-láticas e pela atividade da enzima deaminase da planta. Assim, valores elevados evidenciam intensa deaminação dos aminoácidos da proteína verdadeira, proporcionando uma silagem de baixa qualidade proteica (JOBIM *et al.*, 2007).

Em um bom padrão fermentativo, os valores de nitrogênio amoniacal não superam os 12%. Os valores obtidos foram inferiores aos relatados por Lopes & Evangelista (2010). Todavia, é importante salientar que os baixos teores de N-NH₃ observados neste estudo podem ter sido associados aos baixos teores de PB das canas *in natura* que foram de 1,2 e 3,6% PB, para as variedades RB 86 7515 e IAC 86 2480, respectivamente. Todavia, não deve ser tomado como único parâmetro de qualidade em silagens.

Com relação às variáveis analisadas, para o uso do *Lactobacillus buchneri*, neste trabalho não foram obtidos resultados satisfatórios em relação aos demais aditivos e ao controle. No entanto, a adição de *L. buchneri* foi explorada em outros trabalhos (SIQUEIRA, 2005; SCHMIDT, 2006; PEDROSO *et al.*, 2007) com controle positivo e teve resultados favoráveis.

Na Tabela 5 encontram-se os valores de ácido lático e etanol em porcentagens da MS. Verifica-se que houve efeito de interação aditivo e variedade ($p < 0,05$). Os teores de ácido lático em ambas as variedades foram maiores com os aditivos NaOH e CaO em comparação aos demais aditivos e as silagens sem aditivos. Entre variedades, ambos foram semelhantes.

TABELA 5 Valores médios de ácido láctico e etanol (% MS) e coeficientes de variação (CV) de silagens de duas variedades de cana-de-açúcar com diferentes aditivos

Aditivos	Ácido Láctico (% MS)		Etanol (% MS)	
	RB 86 7515	IAC 86 2480	RB 86 7515	IAC 86 2480
Ureia	9,40Ab*	5,56Bb	35,25Aa	15,60Ba*
NaOH	12,58Aa*	12,09Aa*	2,24Ac*	0,49Ab*
CaO	14,04Aa*	14,46Aa*	1,89Ac*	3,92Ab*
Milho	3,82Ac	5,30Ab	24,28Ab*	8,63Bb*
<i>L.buchneri</i>	5,37Bc	8,00Ab	42,93Aa*	20,62Ba*
Controle	5,45A	6,05A	36,17A	26,52B
CV (%)	16,84		30,32	

Médias seguidas de 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 diferem do tratamento-controle pelo teste de Dunnett ($p < 0,05$)

Os valores de ácido láctico encontrados foram superiores aos reportados por Schmidt *et al.* (2007) e Sousa *et al.* (2008). O ácido láctico pode ser utilizado como substrato por leveduras. Esse grupo de microorganismos são os principais responsáveis pela produção de etanol em silagens de cana-de-açúcar. A produção de ácido láctico promove maior rapidez na acidificação e menor pH final, além de redução na taxa de degradação proteica das silagens (WEINBERG & MUCK, 1996). Como leveduras podem sobreviver em pH próximos ou inferiores a 2 (McDONALD *et al.*, 1991), altos teores de ácido láctico tenderiam a elevar a produção de etanol. Contudo, esse fato não foi observado nestas silagens, visto que exatamente onde os valores de ácido láctico foram maiores se observou menor produção desse álcool.

Quanto aos teores de etanol, nas duas variedades, os menores valores foram para os aditivos NaOH e CaO. O inoculante, por ser um microorganismo heterofermentativo, a sua utilização poderá ser benéfica de duas formas: inibindo o crescimento de leveduras e, conseqüentemente, fazendo com que a produção de etanol seja menor, e também pelo aumento da

estabilidade aeróbia das silagens (AVILA *et al.*, 2008). Os resultados da literatura quanto a esses benefícios são controversos e vários são os mecanismos que podem influenciar na ação do *L.buchneri* no processo de conservação das silagens, dentre eles a dosagem do inoculante e a viabilidade do micro-organismo. Neste trabalho esse aditivo foi eficiente apenas em relação à silagem-controle na variedade IAC 86 2480.

De forma geral, as silagens da variedade IAC 86 2480 mostraram os melhores resultados, apresentando menor produção de etanol, uma rota fermentativa que representa perdas de aproximadamente 49% de MS dos substratos. Essa perda é composta principalmente de carboidratos solúveis, embora em energia seja minimizada pela elevada concentração energética no etanol (McDONALD *et al.*, 1991).

Pedroso *et al.* (2007), utilizando as dosagens de 1, 2, e 3% de NaOH na massa verde da cana-de-açúcar, verificaram redução no teor de etanol, de 3,06% na silagem-controle para 2,4% da MS, na média das silagens tratadas com esse produto.

Sousa *et al.* (2008) observaram redução de 4,78 para 0,37% de etanol em porcentagem da MS das silagens-controle e aditivadas com óxido de cálcio na dose de 1,5% da matéria verde, respectivamente. Dados que confirmam o efeito desses agentes alcalinos em silagens de cana-de-açúcar. Além de esses agentes estarem diretamente relacionados com a hidrólise dos componentes da parede celular, agem também sobre o desenvolvimento de micro-organismos indesejáveis.

Em relação aos valores dos ácidos graxos voláteis (Tabela 6), o acético apresentou os maiores valores. A silagem da variedade IAC 86 2480 com o aditivo microbiano foi a que apresentou o maior valor, diferiu da RB 86 7515, dos demais aditivos e também da silagem sem aditivo ($p < 0,05$). Dentro de uma mesma variedade, as silagens com NaOH, na variedade RB 86 7515 e *L. buchneri* na IAC 86 2480 foram superiores aos demais aditivos. Os valores foram relativamente elevados, exceto na silagem da variedade RB 86 7515 aditivada com milho que foi de 1,97% da MS.

TABELA 6 Valores médios de ácido graxos voláteis (%MS) e coeficientes de variação (CV) de silagens de duas variedades de cana-de-açúcar com diferentes aditivos

Aditivos	Acético		Propiônico		Butírico	
	RB	IAC	RB	IAC	RB	IAC
	867515	862480	867515	862480	867515	862480
Ureia	3,22Ab*	2,68Ac*	0,42Ab	0,43Ab	0,016Ab	0,004Bb
NaOH	5,30Aa	2,74Bc*	0,10Ac	0,12Ac	0,003Ac	0,004Ab
CaO	3,56Ab*	4,10Ab	0,77Aa*	0,70Aa*	0,106Aa*	0,082Ba*
Milho	1,97Ac*	2,55Ac*	0,18Ac	0,08Ac	0,001Ac	0,002Ab
<i>L.buchneri</i>	2,50Bc*	5,17Aa*	0,33Ab	0,24Ac	0,003Ac	0,007Ab
Controle	5,41A	3,98B	0,27A	0,19A	0,004A	0,005A
CV (%)	14,19		36,91		27,11	

Médias seguidas de 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 diferem do tratamento-controle pelo teste de Dunnett ($p < 0,05$)

Conforme McDonald *et al.* (1991), a presença do ácido acético é indesejável e teores acima de 2% da MS podem demonstrar ação de enterobactérias e reduzir o consumo pelos animais. Em relação às silagens-controle e aditivadas com ureia, os valores aqui observados foram superiores aos 1,87 e 2,27 % MS encontrados por Castro Neto *et al.* (2008), respectivamente. Para os valores de ácido propiônico, houve apenas efeito de aditivos, sendo que a cal virgem em ambas as variedades foram superiores aos demais tratamentos. Os valores variaram de 0,08 a 0,77 % da MS e estão dentro da faixa desejável que é 0 a 1%, podendo ser classificadas como de boa qualidade, como citado por Mahanna (1993).

O conteúdo de ácido butírico (Tabela 6) apresentou diferenças, e os maiores valores observados dentro de cada variedade foram para as silagens com CaO, sendo superiores aos demais aditivos e às silagens-controle. A cal virgem não foi eficiente em controlar esse tipo de fermentação. Entre variedades, para esse mesmo aditivo, o teor de ácido butírico foi maior na variedade RB 86 7515. Possivelmente, houve um maior ataque de micro-

organismos indesejáveis nesta variedade, visto que as perdas por gases, Tabela 3, também foram maiores para a RB 86 7515. Isso pode ter contribuído para uma maior fermentação butírica em relação à variedade IAC 86 2480.

O ácido butírico reflete a extensão da atividade clostridiana e valores entre 0 e 0,3% indicam boa fermentação e menores perdas de energia e matéria seca (TOMICH *et al.*, 2003).

CONCLUSÕES

Os melhores resultados foram nas silagens aditivadas com NaOH e CaO. A melhor variedade foi a IAC 86 2480.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL, R. C. *et al.* Cana-de-açúcar *in natura* ou ensilada com e sem aditivos químicos: estabilidade aeróbia dos volumosos e das rações. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa-MG, v. 38, n. 10, p. 1857-1864, 2009.

ANDRADE, J. B.; FERRARI JR, E.; BRAUN, G. Valor nutritivo da silagem de cana-de-açúcar tratada com ureia e acrescida de rolão de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, p. 1169-1174, 2001.

ANTUNES, F. Z. Caracterização climática. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.17, n.181, p.15-19,1994.

ÁVILA, C. L. S. **Isolamento e uso de *Lactobacillus buchneri* na ensilagem de capim-mombaça e cana-de-açúcar**. 2007. 175 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.

ÁVILA, C. L. S. *et al.* Qualidade da silagem de cana-de-açúcar inoculada com uma cepa de *Lactobacillus buchneri*. **Acta Scientiarum Animal Sciences**, Maringá, v. 30, n. 3, p. 255-261, 2008.

BALIEIRO NETO, G. *et al.* Perdas na ensilagem da cana-de-açúcar cv. IAC86/2480 (*Saccharum officinarum* L.) com doses de óxido de cálcio. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 42, 2005, Goiânia. **Anais...** Goiânia: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2005. (CD ROM).

BERNARDES, T.F. *et al.* Avaliação da queima e da adição de milho desintegrado com palha e sabugo na ensilagem de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa-MG, v. 36, n. 2, p. 269-275, 2007.

BERNARDES, T. F.; REIS, R. A.; MOREIRA, A. L. Fermentative and microbiological profile of marandu-grass ensiled with citrus pulp pellets. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 62, p. 214-220, 2005.

CASTRO, F.G. *et al.* Parâmetros físicos-químicos da silagem de tifton-85 (*Cynodon spp.*) sob efeito do pré-murchamento e de inoculante bacteriano-

enzimático. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 38., Piracicaba, 2001. **Anais...** 2001. p. 270-272.

CASTRO NETO, A. G. *et al.* Parâmetros de fermentação de silagens de cana-de-açúcar submetidas a diferentes tratamentos. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 60, n. 5, p. 1150-1156, 2008.

CAVALI, J. *et al.* Silagem de cana-de-açúcar tratada com óxido de cálcio: composição bromatológica e perdas. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 43, 2006, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2006. (CD-ROM).

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-MG, v. 38, n. 1, p. 20-26, 2009.

FERNANDES, A. M. *et al.* Composição químico-bromatológica de variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum spp L.*) com diferentes ciclos de produção (precoce e intermediário) em três idades de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa-MG, v. 32, n. 4, p. 977-985, 2003.

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.

FREITAS, A. W. P. *et al.* Avaliação da qualidade nutricional da silagem de cana-de-açúcar com aditivos microbianos e enriquecida com resíduo da colheita de soja. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa-MG, v. 35, n. 1, p. 38-47, 2006.

HILL, J.; LEAVER, J. D. Changes in chemical composition and nutritive value of urea treated whole crop wheat during exposure to air. **Animal Feed Science Technology**, [s.l.], v. 102, p. 181-195, 2002.

IGARASI, M. S. Controle de perdas na ensilagem de capim Tanzânia (*Panicum maximum* Jacq. Cv. Tanzânia) sob os efeitos do teor de

matéria seca, do tamanho de partícula, da estação do ano e da presença do inoculante bacteriano. 2002. 151 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior Agrícola “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas do instituto Adolfo Lutz:** Métodos químicos e físicos para análise de alimentos. 3. ed. São Paulo: Adolfo Lutz, 1985. v.1, 332 p.

JOBIM, C. C.; GOLÇALVES, G. D. Microbiologia de Forragem Conservada. **Volumosos na produção de ruminantes: Valor alimentício de forragens.** Editado por Ricardo Andrade Reis [*et al.*] Jaboticabal: editora Funep, 2003. 264 p.

JOBIM, C.C.; NUSSIO, L. G.; REIS, R. A. Avanços metodológicos na avaliação da qualidade da forragem conservada. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa-MG, v. 36, p.101-119, 2007. Suplemento especial.

JUNQUEIRA, M. C. **Aditivos químicos e inoculantes microbianos em silagens de cana-de-açúcar: perdas na conservação, estabilidade aeróbia e o desempenho de animais.** 2006. 98 p. Dissertação (Mestrado em ciência animal e pastagens) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

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-MG, v. 39, n. 5, p. 984-991, 2010.

MAHANNA, B. Troubleshooting silage problems. In: STATE APPLIED NUTRITION CONFERENCE, 4, 1993, Wisconsin. **Proceedings...** Wisconsin:[s.n], 1993. p. 1-21.

McDONALD, P.; HENDERSON, A. R.; HERON, S. J. E. **The biochemistry of silage.** 2. ed. Marlow: Chalcombe Publications, 1991. 340 p.

MORAES, K. A. K. *et al.* Desempenho de novilhas mestiças recebendo dietas contendo cana-de-açúcar hidrolisada com oxido de cálcio e diferentes

níveis de concentrado. In: Reunião anual da sociedade brasileira de zootecnia, 43., 2006, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: SBZ, 2006.

NUSSIO, L. G.; SCHIMIDT, P.; QUEIROZ, O. C. M.; Alternativas de uso e manejo de cana-de-açúcar para bovinos. In SIMPÓSIO GOIANO SOBRE MANEJO E NUTRIÇÃO DE BOVINOS DE CORTE, 7, 2005. Goiânia. **Anais...** Goiânia: CBNA, 2005. p. 299-321

OLIVEIRA, M. W. *et al.* Adição de hidróxido de cálcio à silagem de cana. In: CONGRESSO NACIONAL DE ZOOTECNIA, 9, 2004, Brasília. **Anais...** Brasília: ZOOTECA, 2004. (CD-ROM).

PAZIANI, S. F. *et al.* Influência do teor de matéria seca e do inoculante bacteriano nas características físicas e químicas da silagem de capim Tanzânia. **Acta Scientiarum-Animal Sciences**, Maringá, v. 28, p. 265–271, 2006.

PEDROSO, A. F. **Aditivos químicos e microbianos como inibidores da produção de etanol em silagens de cana-de-açúcar (*Saccharum offinarum* L.)**. 2003. 120 p. Tese (Doutorado em agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

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-MG, v. 36, n. 3, p. 558-564, 2007.

PEDROSO, A. F. *et al.* Fermentation and epiphytic microflora dynamics in sugar cane silage. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 62, p. 427-432, 2005.

PEREIRA FILHO, J. M. *et al.* Efeito do Tratamento com Hidróxido de Sódio sobre a Fração Fibrosa, Digestibilidade e Tanino do Feno de Jurema-Preta (*Mimosa tenuiflora*. Wild). **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa-MG, v. 32, n. 1, p. 70-76, 2003.

QUEIROZ, O. C. M. **Associação de aditivos microbianos na ensilagem e o desempenho de vacas em lactação recebendo silagem de cana-de-açúcar comparada a volumoso tradicional**. 2006. 99 p. Dissertação

(Mestrado em Agronomia – Ciência Animal e Pastagens) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2006.

ROTH, M. T. P. *et al.* Valor nutritivo das plantas e das silagens de híbridos de milho (*Zea mays* L.). In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 41, 2004, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2004. (CD-ROM).

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

SCHMIDT, P. **Perdas fermentativas na ensilagem, parâmetros digestivos e desempenho de bovinos de corte alimentados com rações contendo silagens de cana-de-açúcar**. 2006. 228f. Tese (Doutorado em Ciência Animal e Pastagens) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”/ Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

SCHMIDT, P. *et al.* Aditivos químicos e biológicos na ensilagem de cana-de-açúcar. 1. Composição química das silagens, ingestão, digestibilidade e comportamento ingestivo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa-MG, v. 36, n. 5, p. 1666-1675, 2007. Suplemento.

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

SIQUEIRA, G. R. *et al.* Interações entre inoculantes microbianos e aditivos químicos na fermentação e na estabilidade aeróbia de cana-de-açúcar. In: Reunião da SBZ, 41. Campo Grande, 2004. **Anais...** Campo Grande: SBZ, CD-ROM 2004.

SIQUEIRA, G. R. **Cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) ensilada com aditivos químicos e microbianos**. 2005. 92 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária/Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2005.

SIQUEIRA, G. R. *et al.* Associação entre aditivos químicos e bacterianos na ensilagem de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa-MG, v. 36, n. 4, p. 789-798, 2007a.

SIQUEIRA, G. R. *et al.* Perdas de silagens de cana-de-açúcar tratadas com aditivos químicos e bacterianos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa-MG, v. 36, p. 2000-2009, 2007b.

SOUSA, D. P. *et al.* Efeito de aditivo químico e inoculantes microbianos na fermentação e no controle da produção de álcool em silagens de cana-de-açúcar.; **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa-MG, v. 37, n. 9, p. 1564-1572, 2008.

TOMICH, T. R. *et al.* **Características químicas para avaliação do processo fermentativo de silagens: uma proposta para qualificação da fermentação.** Corumbá: Embrapa Pantanal, 2003. 20 p. (Série Documentos)

WEINBERG, Z. G.; MUCK, R.E. New trends and opportunities in the development and use of inoculants for silage. **FEMS Microbiology Reviews**, [s.l.], v. 19, p. 53-68, 1996.

CAPÍTULO III

CINÉTICA DE FERMENTAÇÃO DE SILAGENS DE CANA- DE-AÇÚCAR COM ADITIVOS PELA TÉCNICA *IN VITRO* DE PRODUÇÃO DE GASES

RESUMO

ROCHA, Wéder Jânsen Barbosa. **Cinética de fermentação de silagens de cana-de-açúcar com aditivos pela técnica *in vitro* de produção de gases.** 2012. Cap. III, p. 60-90. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Estadual de Montes Claros, MG.¹

Objetivou-se com este estudo avaliar a cinética de fermentação e os parâmetros de degradabilidade ruminal de duas variedades de cana-açúcar *in natura* e ensiladas com diferentes aditivos utilizando-se a técnica *in vitro* semiautomática de produção de gases pelos micro-organismos ruminais. O experimento foi realizado no Departamento de Ciências Agrárias da UNIMONTES, Campus de Janauba-MG. Utilizou-se 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*) com três repetições e um tratamento sem aditivo para ambas as variedades, com a abertura dos silos sendo feita 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 degradabilidade da matéria seca (DMS) foi obtida pela porcentagem de matéria seca (MS) remanescente após 0, 6, 12, 24, 48 e 96 horas de fermentação. A pressão originada pela matéria orgânica foi registrada em um transdutor de pressão universal, modelo LOGGER AG 100 e para o ajuste dos parâmetros cinético foi utilizado o modelo bicompartimental. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias dos tratamentos (silagens com aditivos) foram comparadas pelo teste de Scott-Knott, as médias de variedades pelo teste “F” e a testemunha (silagem sem aditivo) em relação aos demais tratamentos foram comparados pelo teste de Dunnet, ao nível de 5% de probabilidade. O maior volume de gás 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 variedade IAC 86 2480 em geral apresentou os menores tempos de colonização. Os melhores resultados para os parâmetros de degradabilidade ruminal foram nas silagens aditivadas com NaOH.

¹ **Comitê de Orientação:** Prof. Dr. Vicente Ribeiro Rocha Júnior – Departamento de Ciências Agrárias/UNIMONTES (Orientador); Prof. Dr. Sidnei Tavares dos Reis – Departamento de Ciências Agrárias/UNIMONTES (Coorientador).

ABSTRACT

ROCHA, Weder Jansen Barbosa. **Fermentation kinetics of of sugar cane silage with different additives by the *in vitro* gas production technique.** 2012. Chapter III, p. 60-90. 2012. Dissertation (Master's degree in Animal Science) – Universidade Estadual de Montes Claros, MG.¹

The objective of this study was to evaluate the fermentation kinetics and the parameters of rumen degradability of two varieties of sugar cane *in natura* and ensiled with different additives using a *in vitro* semiautomatic technique of gas production by rumen microorganisms. The experiment was carried out at Department of Agricultural Sciences UNIMONTES, Campus Janauba-MG. It was used a completely randomized design with a factorial 2 x 5, two varieties of sugar cane (RB 86 7515 and IAC 86 2480) and five additives (urea, NaOH, CaO, corn and *L. buchneri*) with three replications and one treatment without additive for each variety, with the opening of the silos at 60 days after ensiling. Pressure readings were performed in the times 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 15, 19, 24, 30, 36, 48, 72 and 96 hours. The dry matter digestibility (DMD) was calculated by the percentage of dry matter (DM) remaining after 0, 6, 12, 24, 48 and 96 hours of fermentation. The pressure caused by organic matter was recorded in a universal pressure transducer model LOGGER AG 100 and for adjusting the parameters kinetic it was used a bicompartamental model. Data were subjected to analysis of variance and treatment means (silages with additives) were compared by Scott-Knott test, varieties means by "F" test and the control (silage without additive) in relation to the other treatments were compared by Dunnett test, at 5% level of probability. The highest gas volume of no fiber fraction was in IAC 86 2480, with the additive NaOH. In the fiber fraction there was difference only between varieties with the additive urea, and the IAC 86 2480 had the highest volume. The IAC 86 2480 variety in general showed the lowest times of colonization. The best results for the parameters of degradability were in silages with NaOH.

¹**Guidance committee:** Prof. Dr. Vicente Ribeiro Rocha Júnior – Department of Agrarian Sciences /UNIMONTES (Adviser); Prof. Dr. Sidnei Tavares dos Reis – Department of Agrarian Sciences/UNIMONTES (Co-adviser).

1 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar é um alimento que apresenta elevada produção de massa verde ha^{-1} , maturação coincidente com a escassez de forragens e à medida que amadurece os teores de fibra reduzem, contrariamente ao observado para as demais forrageiras. Esse fato pode ser explicado pela redução do percentual dos constituintes da parede celular em decorrência do acúmulo de carboidratos solúveis (FREITAS *et al.*, 2006).

A utilização da cana na forma de silagem é uma forma de concentrar a mão de obra em apenas um período, promover um crescimento mais uniforme, aproveitar a cana no estágio de melhor valor nutritivo, eliminando, assim, 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 da ensilagem possibilita ainda a aplicação de tratamentos culturais, como a capina, adubações e controle com herbicidas e, ainda, previne incêndio acidental, pois se pode 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 químico-bromatológica 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 da 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, objetivou-se com este estudo avaliar a cinética de fermentação e os parâmetros de degradabilidade ruminal de duas variedades de cana-açúcar *in natura* e ensiladas com diferentes aditivos utilizando-se a técnica *in vitro* semiautomática de produção de gases pelos microorganismos ruminais.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Este experimento foi realizado no Departamento de Ciências Agrárias da Universidade Estadual de Montes Claros (UNIMONTES), Campus de Janauba-MG. Janauba está localizada a 15°52'38" de Latitude Sul, 43°20'05" de Longitude Oeste. Apresenta 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 tipo de clima predominante na região é o Aw (ANTUNES, 1994).

Utilizou-se um delineamento experimental inteiramente casualizado com esquema fatorial 2 x 5, 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 silagem 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, 5% milho moído. Quanto ao inoculante, foi utilizada a cepa NCIMB 40788 do Inoculante comercial silo Max® na dose de $2,5 \times 10^{10}$ UFC/g de forragem. Utilizaram-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. Essas amostras foram acondicionadas em saco plástico, identificadas e congeladas para análises da forragem original. Os

silos, após o enchimento, foram fechados com tampas de PVC dotados de válvula tipo *Bunsen*, vedados com fita adesiva. Eles foram armazenados nas dependências do Laboratório de Análises de Alimentos da UNIMONTES, mantidos à temperatura ambiente com a abertura sendo feita aos 60 dias após a ensilagem.

Ao se retirar a silagem de cada silo, procedeu-se à homogeneização do material, parte da silagem foi pré-seca em estufa de ventilação forçada a 55 °C até peso constante. Na sequência, a silagem pré-seca foi moída em moinho Tipo Wiley em peneira de 1 mm e armazenada em potes plásticos devidamente identificados.

Para avaliação da produção de gases, foi utilizada a técnica *in vitro* semiautomática de produção de gases, de acordo com Mauricio *et al.* (1999).

A pesagem foi realizada em balança digital de precisão, pesando-se 1 g da amostra em duplicata, com 12 réplicas e depositada em frascos de 160 ml injetados constantemente com CO₂ e fechados. A cada 28 frascos com amostra utilizaram-se 3 controles (apenas líquido ruminal e o meio de cultura).

O meio utilizado foi o “tampão de McDougal” (MCDUGAL, 1949; MAURICIO *et al.*, 2001). Depois de preparada, a solução-tampão foi colocada em banho-maria e adicionada, para cada litro de tampão, uma solução redutora preparada momentos antes. Então, a solução foi borbulhada com CO₂, para atingir pH entre 6,8 – 6,9. Após o preparo, a mesma ficou em repouso por aproximadamente 4 horas. Em seguida adicionaram-se 90 ml da solução nos frascos injetando constantemente CO₂. Na sequência foram conduzidos à geladeira, onde foram mantidos a 4 °C. No dia seguinte, 5 horas antes da inoculação, seguia-se com as bandejas contendo os frascos para estufa a 39 °C.

Os reagentes utilizados, bem como suas respectivas quantidades, estão apresentados na tabela a seguir (Tabela 7).

TABELA 7 Reagentes e quantidades utilizadas no preparo do meio de cultura.

Reagentes	Fórmula química	Quantidade (g L ⁻¹)	Quantidade para 1 L de solução de meio de cultura (mL)
Água destilada	H ₂ O		520, 2
1 – Solução-Tampão			208,1
Carbonato de Amônio	NH ₄ HCO ₃	4,00	
Carbonato de Sódio	NaHCO ₃	35,00	
2 – Solução Macromineral			208,1
Fosfato de Sódio	NaHPO ₄ .12H ₂ O	9,45	
Fosfato de Potássio	KH ₂ PO ₄	6,20	
Sulfato de Magnésio	MgSO ₄ .7H ₂ O	0,60	
3 – Solução Micromineral			0,1
Cloreto de Cálcio	CaCl ₂ .2H ₂ O	132,00	
Cloreto de Manganês	MnCl ₂ .4H ₂ O	100,00	
Cloreto de Cobalto	CoCl ₂ .6H ₂ O	10,00	
Cloreto férrico	FeCl ₃ .6H ₂ O	80,00	
4 – Solução de Meio B			62,4
Cisteína	C ₃ H ₈ NO ₂ SCI.H ₂ O	6,25	
Hidróxido de Sódio 1M	NaOH	40 (mL)	
Sulfeto de sódio	Na ₂ S.9H ₂ O	6,25	
5 – Solução de Resazurina			1,0
	Resazurina	0,01	
Total			1.000

Fonte: Theodorou *et al.* (1994).

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 Litro em cada animal e acondicionado em uma garrafa térmica previamente aquecida com água a 39

°C. No laboratório, os inóculos foram infundidos com CO₂, seguiu-se a filtração em dupla camada de gaze mantidos em banho-maria a 39 °C.

Com auxílio de seringas plásticas, inocularam-se 10 mL em cada frasco sob aspersão contínua de CO₂. Os frascos foram vedados com rolhas de borracha e seguiram-se novamente à 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, em que foi conectado o manípulo com agulha de 0,7 mm fixada em sua ponta. O manípulo 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 horas. A partir da inserção da agulha na rolha de borracha, a pressão produzida no interior dos frascos foi verificada no leitor digital. Feita a leitura da pressão, a obtenção do volume de gases foi realizada puxando-se o êmbolo da seringa até que a pressão 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, estes foram somados aos valores das leituras anteriores, possibilitando, assim, a construção da curva correspondente à fração solúvel e à insolúvel para cada tempo de incubação.

A degradabilidade da matéria seca (DMS) foi obtida pela porcentagem de matéria seca (MS) remanescente 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*. Foi utilizado o modelo bicompartimental (descrito abaixo), ajustado às curvas de produção cumulativa de gás (SCHOFIELD *et al.*, 1994).

$V = Vf1 / (1 + \exp(2 - 4 * C1 * (T - L))) + Vf2 / (1 + \exp(2 - 4 * C2 * (T - L)))$,
em que: Vf1 equivale ao volume máximo de gás da fração dos CNF; C1, à taxa de degradação (h^{-1}) desta mesma fração (CNF); Vf2, ao volume máximo de gás da fração dos CF; C2, à taxa de degradação (h^{-1}) 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 horas, foram utilizados os modelos matemáticos propostos por Mehrez e Ørskov (1977) e Ørskov e McDonald (1979), que possibilitaram estimar as degradabilidades potencial (DP) e efetiva (DE):

$$DP = A \rightarrow t \leq L$$

$$DP = a + b (1 - e^{-c \cdot t}) \rightarrow t > L,$$

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):

$$B = (a + b) - A \text{ ou } 100 - (A + C),$$

Em que:

C = fração indegradável (calculada como 100-DP).

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

$$DE = (a + b) / [c / (c + kp)],$$

Em que:

kp = taxa de passagem do alimento (%/hora) pelo rúmen e foi considerada como 5%/hora.

A seguir encontra-se a composição química-bromatológica das silagens de cana-de-açúcar aditivadas e sem aditivos (Tabela 8).

TABELA 8 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;

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

Para obtenção dos modelos estatísticos que medem a relação entre o volume de gás produzido durante a fermentação e a pressão (psi), utilizou-se o estudo de 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).

Depois de obtidos os valores dos parâmetros de Schofield *et al.* (1994), Mehrez e Ørskov (1977) e Ørskov e McDonald (1979), eles 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) foram comparadas pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade e as médias de tratamento em relação às silagens sem aditivos e a matéria original pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As leituras de pressão e volume provenientes da fermentação das silagens de cana-de-açúcar com aditivos resultaram na obtenção individual de 1140 dados. A relação entre a pressão e o volume a partir destes dados encontra-se na Figura 1.

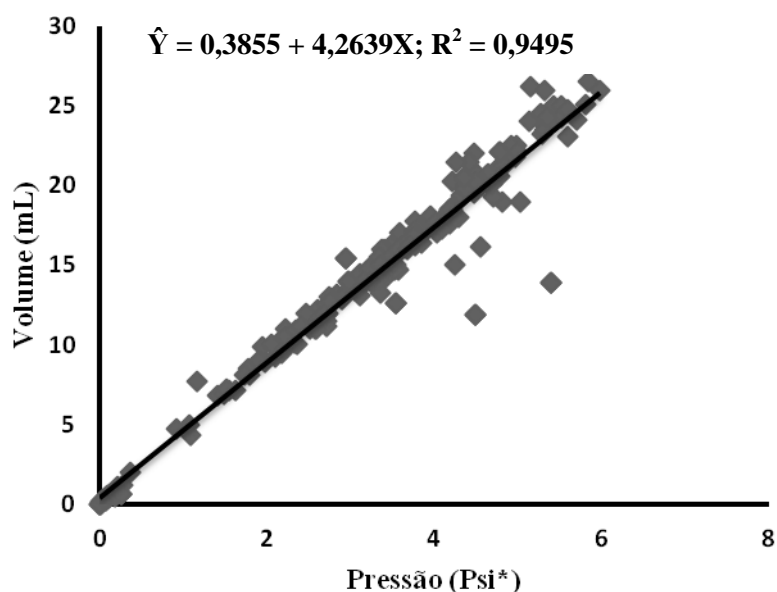


FIGURA 1 - Dados de pressão e volume obtidos durante experimento de produção de gases com silagens de cana-de-açúcar com diferentes aditivos. (*libra por polegada quadrada)

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. Valores acima de 7,0 psi causam instabilidade na correlação entre as variáveis e alterações no crescimento microbiano (THEODOROU *et al.*, 1994).

Giraldo *et al.* (2006), ao trabalharem com forrageira para estabelecer uma equação de regressão entre pressão e volume também encontraram valores de pressão abaixo de 7 psi e volume de gases entre 1 e 27 mL.

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 gás. Essa equação é semelhante àquela obtida por Araújo Neto *et al.* (2006) trabalhando com casca de coco, onde o volume predito foi de 4,96 mL para cada unidade de pressão (psi), mas diferente da equação obtida em Reading na Inglaterra (MAURÍCIO *et al.*, 1999): $V \text{ (ml)} = 0,08 P^2 \text{ (s.e. 0,007)} + 3,69 P \text{ (s.e. 0,052)} + 0,18 \text{ (s.e. 0,08)}$, ($R^2 = 0,99$).

Essa diferença, provavelmente, está diretamente relacionada à altitude de cada laboratório, 520 m em Janauba e 66 m em Reading. Os resultados da pesquisa demonstram que para cada psi de pressão o valor de volume estimado foi de 4,26 mL, já em Reading, Maurício *et al.* (1999) encontraram valores de 3,95 ml de volume para cada psi de pressão. Nos dois locais de estudo a proporcionalidade entre volume e altitude foi mantida, ou seja, maior altitude maior 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. Maurício *et al.* (2003) também obtiveram elevados coeficientes de correlação ao trabalharem com forrageiras tropicais.

O volume de gases produzidos durante a fermentação de substratos utilizando-se a técnica *in vitro* semiautomática de produção de gases foi estimado satisfatoriamente a partir dos dados de pressão, potencializando o uso desta técnica na avaliação de alimentos para ruminantes.

As médias das estimativas para as variáveis da cinética de degradação *in vitro* dos carboidratos, pela de produção de gás, estão relacionadas na Tabela 9.

Houve efeito de interação 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 apresenta maior solubilidade e conseqüentemente maior disponibilidade para os microorganismos. Os menores volumes de gás para fração não fibrosa em relação à fração fibrosa encontrados 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, observa-se que o material original apresentou maior volume final de gases do que as silagens sem aditivos, sendo superior 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 variedades, apenas a IAC 86 2480 com o NaOH apresentou maior volume de gases da fração não fibrosa. Quanto maior a taxa de digestão menor o volume de gases, pois essa taxa representa 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 obteve menores tempos de colonização do que a RB 86 7515. Na variedade IAC 86 2480, as silagens com os aditivos NaOH e *L. buchneri* apresentaram os menores valores para o tempo de colonização. Já na RB867515, o menor tempo foi apenas nas silagens com NaOH. Quanto menor este tempo, mais rápido inicia-se a degradação do alimento, o que é desejável.

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. A taxa de digestão da fração fibrosa foi maior entre variedades apenas na RB 86 7515 com NaOH, e somente nesta variedade houve

diferença entre os aditivos, sendo o hidróxido de sódio o que implicou maior taxa de digestão dos carboidratos fibrosos.

TABELA 9 Médias das estimativas para as variáveis relativas à cinética de degradação *in vitro* dos carboidratos pela técnica semiautomática de produção de gases

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

Fernandes *et al.* (2003), avaliando o volume de gás e as taxas de digestão dos carboidratos de variedades de cana-de-açúcar com diferentes ciclos de produção (precoce e intermediário), obtiveram valores para Vf_{cnf}, Vf_{cf}, C_{cnf} e C_{cf} de 98,8 e 98,6 mL.g⁻¹, 168,6 e 170,6 mL.g⁻¹, 0,182 e 0,185 .h⁻¹, 0,023 e 0,023 .h⁻¹, respectivamente. Os volumes de gases foram superiores e as taxas de digestão foram semelhantes aos dados do presente estudo. Para possibilitar a comparação dos parâmetros da cinética de fermentação *in vitro*, os resultados (Vf_{cnf} e Vf_{cf}) de Fernandes *et al.* (2003) foram extrapolados para 1 g de amostra, uma vez que utilizaram 100 mg de amostra para incubação.

Apesar de as bactérias que fermentam carboidratos estruturais utilizarem amônia como fonte de nitrogênio (PEREIRA *et al.*, 2010), não foram observados aumento na produção de gases com o aditivo ureia nessa fração.

As reduções no tempo de colonização são favorecidas pela presença de substratos prontamente fermentáveis e por características físicas e químicas da parede celular capazes de facilitar a colonização microbiana (MAGALHÃES *et al.*, 2006). A variedade IAC 86 2480 mostrou melhores resultados para tempo de colonização.

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. Isso reflete em uma maior consistência dos dados obtidos no presente estudo.

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.

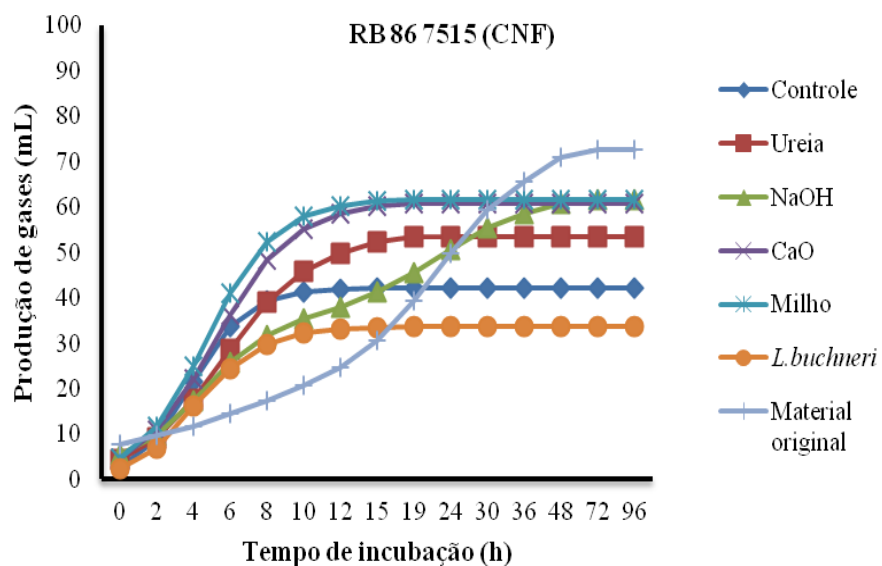


FIGURA 2 Produção acumulada de gases dos carboidratos não fibrosos (CNF) da variedade RB 86 7515 com diferentes aditivos.

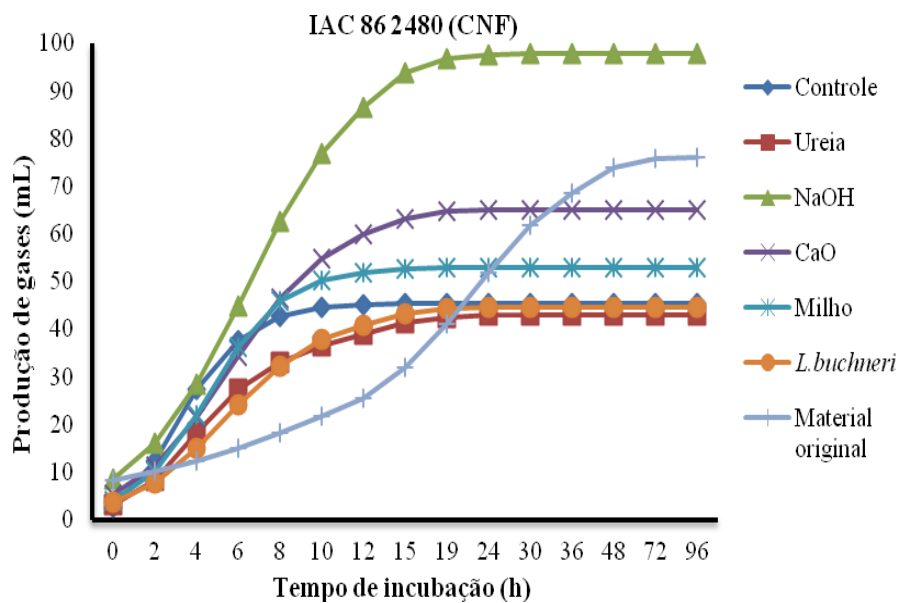


FIGURA 3 Produção acumulada de gases dos carboidratos não fibrosos (CNF) da variedade IAC 86 2480 com aditivos.

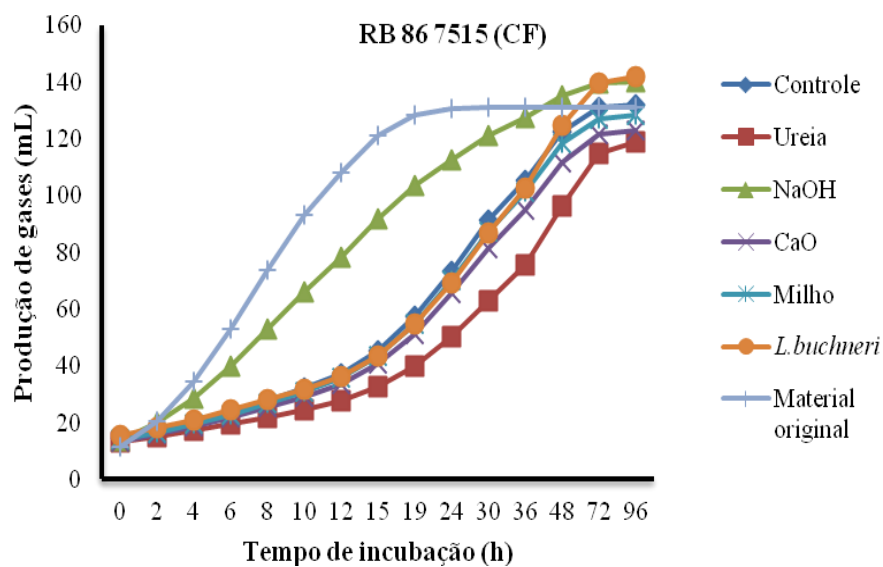


FIGURA 4 Produção acumulada de gases dos carboidratos fibrosos (CF) da variedade RB 86 7515 com aditivos.

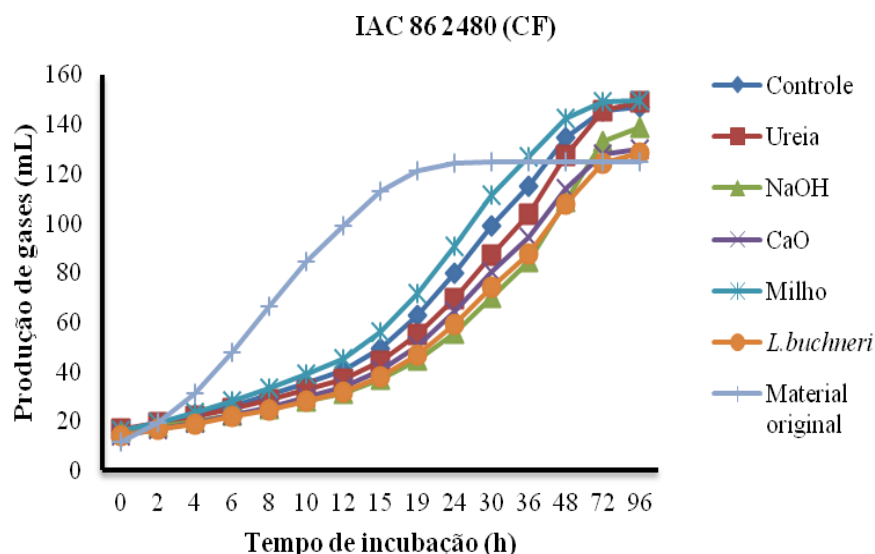


FIGURA 5 Produção acumulada de gases dos carboidratos fibrosos (CF) da variedade IAC 86 2480 com aditivos.

A fermentação dos carboidratos não fibrosos, Figuras 2 e 3, foram rápidas em relação aos carboidratos fibrosos, e em ambas as variedades o volume de gás 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 cana-de-açúcar apresenta uma baixa degradabilidade de sua fibra. A produção de gases aumentou com o tempo de incubação, e com 96 horas ainda havia fermentação dessa fração. A exceção foi para o material original, que mesmo tendo lenta degradação da fibra, estabilizou-se por volta de 30 horas (Figuras 4 e 5). O processo de ensilagem alterou a fermentação do material em estudo.

Na Tabela 10 estão representados os valores em porcentagem da MS das frações solúveis, potencialmente degradável e a fração insolúvel. Verificou-se interação de variedades com aditivos ($p < 0,05$) para a fração solúvel (A), fração potencialmente degradável (B) da MS.

As maiores frações solúveis da MS nas duas variedades foram verificadas nas silagens aditivadas com o NaOH e CaO em comparação aos demais aditivos.

Na variedade IAC 86 2480 tanto a silagem com o aditivo NaOH quanto o material original apresentaram menor fração solúvel da MS que a RB 86 7515. A cana RB 86 7515 aditivada com NaOH foi superior ($p < 0,05$) aos demais tratamentos e a silagem-controle desta variedade diferiu das silagens aditivadas com NaOH, CaO e do material original, apresentando menor fração solúvel. O material original da variedade RB 86 7515 foi semelhante apenas ao tratamento com CaO.

A fração potencialmente degradável da MS foi maior nas silagens das variedades RB 86 7515, com os aditivos milho, *L. buchneri* e a silagem-controle em relação a IAC 86 2480. Sendo ainda superiores aos demais tratamentos e ao material original. Já na variedade IAC 86 2480 não houve diferença estatística ($p > 0,05$).

As menores frações insolúveis em porcentagem da MS foram nas silagens de ambas às variedades com os aditivos hidróxido de sódio e óxido de cálcio. 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 (VAN SOEST, 1994).

Apenas na variedade RB 86 7515 a silagem sem aditivo diferiu da cana *in natura*, apresentando menor fração insolúvel em % 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 10).

TABELA 10 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 ¹ (%MS)		B ² (%MS)		FI ³ (%MS)	
	RB 867515	IAC 862480	RB 867515	IAC 862480	RB 867515	IAC 86 2480
Ureia	23,41Ac ^o	28,34Ab	40,59Ab* ^o	42,07Aa	36,01Aa*	29,59Aa
NaOH	48,91Aa* ^o	39,81Ba* ^o	38,15Ab* ^o	41,45Aa	12,94Ac ^o	18,74Ab
CaO	38,92 Ab*	41,49Aa* ^o	43,31Ab* ^o	41,98Aa	17,77Ac ^o	16,54Ab
Milho	21,07Ac ^o	24,03Ab ^o	53,42Aa ^o	46,19Ba	25,52Ab ^o	29,79Aa
<i>L.buchneri</i>	17,73Ac ^o	24,62Ab	57,43Aa ^o	47,72Ba	24,84Ab ^o	27,67Aa
Controle	20,57A ^o	24,88A	57,23A ^o	46,73B	22,20A ^o	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 MO, respectivamente.

A¹ - fração solúvel; B² - fração potencialmente degradável (%); FI³ - fração insolúvel (%); CV - coeficiente de variação.

Em relação aos parâmetros analisados, verifica-se que a cana-de-açúcar apresenta uma elevada fração solúvel devido à riqueza em sacarose. Os valores aqui encontrados nas silagens aditivadas com NaOH, CaO e no material original foram próximos aos reportados por Pereira *et al.* (2000). Estes autores, avaliando o fracionamento de diferentes alimentos, e dentre eles a cana-de-açúcar conforme o sistema CNCPS e Sniffen *et al.*(1992), registraram valores de 35,99, 41,24 e 22,74% MS para as frações solúveis, potencialmente degradáveis e fração insolúvel, respectivamente.

Ao comparar os dados deste estudo com os de Oliveira *et al.* (2009), que analisaram 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 também uma certa proximidade. Esses autores 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.

O fato de a cana-de-açúcar tratada com o NaOH ou CaO apresentar elevadas frações solúveis é devido, provavelmente, à solubilização parcial dos carboidratos fibrosos, potencializando a degradação da MS, pois a cana-de-açúcar hidrolisada tem seus constituintes da parede celular, principalmente a lignina, reduzidos (OLIVEIRA *et al.*, 2009).

Santos *et al.* (2008), testando a degradabilidade *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 11) foi semelhante entre variedades e apenas o aditivo CaO e o material original foram menores na IAC 86 2480. A maior taxa de degradação dentro da variedade RB 86 7515 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 11). 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. Dentro de uma mesma variedade, os agentes NaOH e CaO foram superiores aos demais tratamentos com aditivos.

TABELA 11 Parâmetro de degradabilidade ruminal da matéria seca de silagens de duas variedades de cana-de-açúcar com diferentes aditivos

Aditivos	KD ¹ (%MS)		DP ² (%MS)		DE ³ (%MS)	
	RB 867515	IAC 862480	RB 867515	IAC 862480	RB 867515	IAC 86 2480
Ureia	0,013Aa ^o	0,018Ab	63,99Ac*	70,41Ab	31,90Bc ^o	39,60Ab
NaOH	0,023Aa	0,024Aa	87,06Aa ^o	81,26Aa*	60,77Aa* ^o	53,30Aa*
CaO	0,022Aa ^o	0,013Bb	82,23Aa ^o	83,46Aa*	51,79Ab*	50,15Aa*
Milho	0,024Aa	0,026Aa	74,48Ab ^o	70,21Ab	38,32Ac ^o	39,77Ab
<i>L.buchneri</i>	0,017Aa ^o	0,014Ab	75,16Ab ^o	72,33Ab	32,20Ac ^o	35,31Ab
Controle	0,018A ^o	0,019A	77,81A ^o	71,61A	35,84A ^o	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 MO, respectivamente.

KD¹ - taxa de degradação (h⁻¹); DP² - degradabilidade potencial (%); DE³ - degradabilidade efetiva à taxa de passagem de (5%/h⁻¹); MO matéria original; CV coeficiente de variação.

Rodrigues *et al.* (2002), avaliando silagens de quatro genótipos de sorgo pela técnica “*in vitro*” semiautomática de produção de gás, constataram valores para degradabilidade efetiva a 5% por hora de 30,3; 21,6; 24,5; 17,8% para os genótipos CMSXS165; CMSXS114; BR700 e BR601. Apesar de a cana-de-açúcar apresentar uma alta fração insolúvel e uma fibra de baixa digestibilidade, os valores de degradabilidade efetiva do presente estudo foram superiores, o que indica potencial de utilização da cana na nutrição de ruminantes.

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⁻¹, 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 de baixa taxa de degradação apresentada pela cana, os valores obtidos estão próximos a de alimentos de melhor qualidade.

Santos *et al.* (2008), analisando a degradabilidade *in situ* da MS, FDN e FDA da cana-de-açúcar *in natura* e ensilada, bem como da silagem de milho em diferentes ambientes ruminais, utilizando a técnica *in situ macro-bag*, encontraram taxa de degradação, degradabilidade potencial e efetiva de 3,35% h⁻¹; 64,63% e 48,94%, respectivamente. A taxa de degradação foi semelhante e a degradabilidade efetiva foi superior aos deste trabalho. Tomich (2003) registrou valores para cana-de-açúcar e capim-elefante de 33,5% e 0,033 h⁻¹; 71,1% e 0,054 h⁻¹ para a fração potencialmente degradável (B) e para taxa de degradação (c), respectivamente. A taxa de degradação constatada foi semelhante a deste estudo.

As degradabilidades potenciais e as efetivas das silagens aditivadas com NaOH ou 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 à 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 10), o que contribuiu para uma elevação na degradabilidade efetiva, equiparando a degradabilidade de alimentos de melhor valor nutritivo. Esses mesmos aditivos reduziram os constituintes da parede celular das silagens, quanto aos teores de FDN e FDA (Tabela 8), o que também auxilia no aumento da degradabilidade.

De forma geral o NaOH e CaO foram promissores no processo da silagem da cana-de-açúcar como um todo. Foram eficientes em reduzir frações insolúveis e favorecer a elevação na degradabilidade *in vitro* da MS.

CONCLUSÕES

A variedade IAC 86 2480 apresentou os melhores resultados de cinética de produção de gases, em relação ao tempo de colonização.

Os melhores resultados para os parâmetros de degradabilidade ruminal foram obtidos nas silagens aditivadas com NaOH e CaO.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTUNES, F. Z. Caracterização climática. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 17, n. 181, p. 15-19. 1994.

ARAÚJO NETO, J. C. A. *et al.* Produção de gases durante a fermentação da casca do coco por meio da técnica. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 43, 2006, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: SBZ, 2006. 1 CD-ROM.

CRUZ, P. *et al.* Fracionamento e cinética da fermentação ruminal *in vitro* dos carboidratos de cinco variedades de cana-de-açúcar. **Ciência Animal Brasileira**. Disponível em: <<http://www.revistas.ufg.br/index.php/vet/article/view/4804/8719>>. Acesso em: 21 ago. 2012.

FERNANDES, A. M. *et al.* Fracionamento e cinética da degradação *in vitro* dos carboidratos constituintes da cana-de-açúcar com diferentes ciclos de produção em três idades de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa-MG, v. 32, n. 6, p. 1778-1785, 2003. Suplemento 1.

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.

FREITAS, A. W. P. *et al.* Características da silagem de cana-de-açúcar tratada com inoculante bacteriano e hidróxido de sódio e acrescida de resíduo da colheita de soja. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa-MG, v.35, p.48-59, 2006.

GIRALDO, L.A. *et al.* Relación entre presión y volumen para el montaje de la técnica *in vitro* de producción de gas en Colombia. **Livestock Research for Rural Development**, Cali, v. 18, n. 6, 2006.

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.

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.* Relação entre pressão e volume para implantação da técnica *in vitro* semiautomática de produção de gases na avaliação de forrageiras tropicais. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte-MG, v. 55, n. 2, p. 216-219, 2003.

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.

MAURICIO, 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.

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, Apr. 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.

NOGUERA, R. R. *et al.* Utilização 1 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-MG, v. 58, n. 4, p. 633-641, 2006.

OLIVEIRA, R. L. S. *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.

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.

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.

PEREIRA, E.S. *et al.* Determinação das frações protéicas e de carboidratos e taxas de degradação *in vitro* da cana-de-açúcar, da cama de frango e do farelo de algodão. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa-MG, v. 29, n. 6, p. 1887-1893, 2000.

RODRIGUES, J. A. S. *et al.* Avaliação das Silagens de Quatro Genótipos de Sorgo pela Técnica "In vitro" Semi-automática de Produção de Gases. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 24., 2002, Florianópolis – SC. Anais...Florianópolis – SC: EMBRAPA, 2002. 5 p. Disponível em: <
<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/33724/1/Avaliacao-silagens.pdf>> Acesso em: 20 ago. 2012.

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.

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**, Cambridge, v. 72, p. 2980-2991, 1994.

SNIFFEN, C. J. *et al.* A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability. **Journal of Animal Science**, Cambridge, 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.

TOMICH, T. R. **Potencial forrageiro de híbridos de sorgo com capim Sudão avaliados em regime de corte.** 2003. 88 f. Tese (Doutorado) - Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2003.

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