

CAPÍTULO 1

1. INTRODUÇÃO GERAL

O princípio básico para a produção de forrageiras é a transformação da energia solar em compostos orgânicos, via fotossíntese. Nesse processo, a umidade do solo, os nutrientes, o CO₂ do ar, a capacidade fotossintética das folhas além, naturalmente, da luz solar, constituem-se nos principais fatores que influenciam suas produtividades (GOMIDE e outros, 2002).

A cana-de-açúcar é considerada uma planta C₄, em virtude de características anatômicas e fisiológicas, apresenta elevada taxa de eficiência de conversão de energia radiante em energia química (TAIZ e ZEIGER, 2004)

Os carboidratos representam a principal reserva da energia fotossintética nos seres fotoautotróficos. Estes compostos constituem cerca de 60 a 80% da matéria seca (MS) das forrageiras, sendo a principal fonte de energia para os seres vivos compreendidos nos primeiros níveis tróficos. Para os ruminantes, eles tornam-se disponíveis indiretamente, por intermédio do processo fermentativo de origem microbiana no rúmen-retículo na forma de ácidos graxos voláteis (AGV) e, diretamente, pela absorção de seus monômeros constituintes, nos intestinos desses animais (Van SOEST, 1994).

A partir do final do século XX, o Brasil tornou-se o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, com uma safra em 2006 de 458 milhões de toneladas, em uma área plantada de 6,2 milhões de hectares (IBGE, 2007).

A sua maior utilização é para fabricação de açúcar e álcool. No entanto, a cana-de-açúcar tem atraído cada vez mais a atenção dos pecuaristas, sendo usada sazonalmente como alimento volumoso principal, em função de apresentar as seguintes características: elevada produção por unidade de área cultivada, cultivo relativamente fácil, baixo custo por unidade de matéria seca produzida e

coincidência do período de sua maior disponibilidade com o período de escassez de forragem na forma de pasto (LANDELL e outros, 2002).

A produtividade animal é determinada basicamente pela qualidade da forragem ingerida. Ela é fortemente influenciada pela digestibilidade da forragem, a qual é inversamente proporcional ao conteúdo da fração fibrosa das plantas (carboidratos fibrosos). A baixa digestão ruminal da forragem ingerida aumenta o tempo de retenção do alimento no rúmen e, conseqüentemente, diminui a taxa de ingestão de matéria seca e o desempenho animal.

Atualmente, novos sistemas de avaliação nutricional para ruminantes indicam a necessidade de diferenciar as frações que compõem os carboidratos e compostos nitrogenados nos alimentos, com o intuito de possibilitar a predição do crescimento microbiano no rúmen, degradação ruminal dos alimentos e o desempenho animal.

Em termos nutricionais, os carboidratos podem ser classificados como carboidratos não-fibrosos e carboidratos fibrosos. Os primeiros são completamente disponíveis no rúmen enquanto que, os segundos, apresentam-se parcialmente disponíveis (MERTENS, 1997).

De forma análoga, os compostos nitrogenados também podem ser divididos em diferentes frações que contemplam o nitrogênio não protéico, podendo ser determinado em frações de proteína verdadeira degradáveis no rúmen e uma parte da proteína que é indisponível (FOX e outros, 2003).

Adicionalmente, tendo em vista as limitações de consumo da cana-de-açúcar provocadas pelas características de sua fração fibrosa (AZEVEDO e outros, 2003b; FERNANDES e outros, 2001), torna-se importante conhecer a qualidade de diferentes variedades, em relação aos teores de fibra e de variáveis da cinética de degradação ruminal da FDN, com o objetivo de poder selecionar as melhores variedades confrontando-as em estudos sobre suas características químicas, cinética da fermentação ruminal e testes de desempenho animal.

A técnica *in vitro* semi-automática de produção de gases apresenta comprovado 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 e outros, 1999).

O objetivo do presente trabalho foi determinar a qualidade nutricional de cinco cultivares de cana-de-açúcar, a partir do fracionamento dos carboidratos e compostos nitrogenados e pela cinética da fermentação ruminal *in vitro* dos colmos inteiros, como também das frações de carboidratos não fibrosos e carboidratos fibrosos *in vitro*.

CAPÍTULO 2

FRACIONAMENTO DOS CARBOIDRATOS E COMPOSTOS NITROGENADOS E DIGESTIBILIDADE VERDADEIRA *IN VITRO* DE CINCO VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR.

1. INTRODUÇÃO

O princípio básico para a produção de forrageiras é a transformação da energia solar em compostos orgânicos, via fotossíntese. Nesse processo, a umidade do solo, os nutrientes, o CO₂ do ar, a capacidade fotossintética das folhas além, naturalmente, da luz solar, constituem-se nos principais fatores que influenciam suas produtividades (GOMIDE e outros, 2002). A cana-de-açúcar é considerada uma planta C₄, com altas taxas fotossintéticas, apresentando elevada eficiência de conversão de energia radiante em energia química.

A partir do final do século XX, o Brasil se tornou o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, com uma safra em 2006 de 458 milhões de toneladas em uma área plantada de 6,2 milhões de hectares (IBGE, 2007).

A sua maior utilização consiste na fabricação de açúcar e álcool. No entanto, a cana-de-açúcar tem atraído cada vez mais a atenção dos pecuaristas, sendo usada sazonalmente como fonte principal de volumoso, em função de apresentar as seguintes características: elevada produção por unidade de área cultivada, cultivo relativamente fácil, baixo custo por unidade de matéria seca produzida e coincidência do período de sua maior disponibilidade com o período de escassez de forragem na forma de pasto (LANDELL e outros, 2002).

Atualmente, novos sistemas de avaliação nutricional para ruminantes indicam a necessidade de diferenciar as frações que compõem os carboidratos e

compostos nitrogenados nos alimentos, no intuito de possibilitar a predição do crescimento microbiano no rúmen, degradação ruminal dos alimentos e o desempenho animal.

Em termos nutricionais, os carboidratos podem ser classificados como carboidratos não-fibrosos (CNF) e carboidratos fibrosos (CF). Os primeiros correspondem aos carboidratos solúveis, carboidratos de reserva e pectina. Os CF correspondem à fibra disponível e à fibra indisponível, que são representados pela hemicelulose e celulose, juntamente com a lignina, sendo parcialmente disponíveis no rúmen (MERTENS, 1997).

Os compostos nitrogenados são fracionados em: “A”: nitrogênio não protéico, três frações de proteína verdadeira que apresentam degradações enzimáticas rápida, intermediária e lenta, respectivamente, e uma quarta, que corresponde à: proteína indigestível (FOX e outros, 2003).

O objetivo deste trabalho foi quantificar nos colmos de cinco variedades de cana-de-açúcar as diferentes frações de carboidratos e compostos nitrogenados, bem como as suas degradabilidades verdadeiras *in vitro* da matéria seca.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Cana-de-açúcar na alimentação de ruminantes

Atualmente a cana-de-açúcar é uma das principais culturas agrícolas do país, sendo utilizada como matéria-prima para a produção de açúcar, álcool e na alimentação animal. No ano de 2006, o Brasil colheu uma safra de 458 milhões de toneladas em uma área plantada de 6,2 milhões de hectares (IBGE, 2007)

A grande maioria dos produtores de leite, principalmente os que utilizam vacas mestiças nos seus plantéis, faz uso da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) como principal volumoso da dieta no período que compreende a estação seca. Esta gramínea possui algumas características que tem justificado a sua escolha como principal recurso forrageiro sazonal, dentre elas, elevada produção por unidade de área cultivada, cultivo relativamente fácil, baixo custo por unidade de matéria seca produzida e coincidência do período de sua maior disponibilidade com o de escassez de forragem na forma de pasto. Outra vantagem de se utilizar a cana-de-açúcar como recurso forrageiro neste período, constitui-se no fato de seu valor nutritivo manter-se praticamente constante por um período de tempo relativamente prolongado, contrastando com o que ocorre com outras gramíneas tropicais, que diminuem seu valor nutricional a medida que avançam a sua maturidade fisiológica. Neste particular, as melhores composições químicas, a depender da variedade, são obtidas em cortes realizados entre 12 a 18 meses após o plantio (FERNANDES e outros, 2001).

Segundo Preston e Leng (1980), citados por Mello e outros (2006), a cana-de-açúcar é um alimento que pode ser caracterizado nutricionalmente por apresentar dois componentes principais: açúcares e material fibroso. No entanto, este volumoso apresenta baixo teor de proteína e minerais, os quais normalmente não são caracterizados nos trabalhos de seleção de variedades.

A qualidade de uma forrageira depende de seus constituintes, os quais variam, dentro de uma mesma espécie, de acordo com a idade e parte da planta, fertilidade do solo, entre outros (Van SOEST, 1994). Dentre os principais fatores que afetam a qualidade da cana-de-açúcar como alimento para ruminantes, os mais importantes são a idade da planta e a variedade (AZEVEDO e outros, 2003). Rodrigues e outros (2001), ao avaliarem a qualidade nutricional de dezoito variedades de cana-de-açúcar, obtiveram variações de 44,18% a 56,41% para a FDN e de 13,72% a 15,77% para a sacarose. Mello e outros (2006), avaliando a composição química de 9 variedades de cana-de-açúcar, observaram valores de FDN que variaram de 46,80% a 54,33% e de fibra disponível (fração “B2”) variando de 33,34% a 41,13%. Assim, diante dessa grande variabilidade, fica evidenciada a necessidade de caracterizar quimicamente as variedades de cana-de-açúcar disponíveis para uso nos sistemas de produção, objetivando a utilização mais racional desta na alimentação de ruminantes.

2.2 Caracterização química de volumosos

O sistema rotineiro de caracterização química fornece subsídios para formar uma primeira idéia do aproveitamento que o alimento poderia ter na alimentação animal. Quando, porém, este sistema é usado isoladamente para a predição do desempenho animal, os resultados são bastante inconsistentes.

Na nutrição de ruminantes, utilizam-se principalmente dois principais sistemas de caracterização química dos alimentos. O primeiro, conhecido como sistema proximal de análises químicas, desenvolvido na Estação Experimental de Weende (Alemanha) e o segundo, denominado de sistema de detergentes, para caracterização das frações fibrosas de alimentos volumosos.

As análises do sistema proximal têm sido usadas por mais de 160 anos para caracterização de alimentos por meio de análise de substâncias com

características químicas comuns, estando descritos conforme a Association of Official Agricultural Chemists (AOAC, 1990). O sistema detergente (GOERING e Van SOEST, 1970) foi criado com o objetivo de melhor quantificar as frações de parede celular de alimentos volumosos, uma vez que o procedimento para a determinação da fibra bruta determinava 100% da celulose, quantidades variáveis de hemicelulose e traços de lignina (GALYEAN, 1997).

Mais recentemente houve um considerável avanço na nutrição dos ruminantes, mas esse progresso, na maioria das vezes, foi baseado em determinações empíricas que desconsideravam as múltiplas inter-relações microbianas ruminais e tratavam o ecossistema ruminal como não-modelável (RUSSEL e outros, 1992). Assim, iniciou-se a procura de métodos para caracterizar melhor os alimentos utilizados na alimentação dos ruminantes, que por meio do fracionamento dos seus princípios nutricionais, correlacionar-se-ia melhor a possibilidade da predição do desempenho animal (SNIFFEN e outros, 1992).

2.3 Fracionamento dos carboidratos

Em termos nutricionais, os carboidratos podem ser classificados como carboidratos não-fibrosos (CNF) e fibrosos (CF). Os primeiros são representados pelos açúcares solúveis, pelo amido e pela pectina, os quais são completamente disponíveis no trato gastrointestinal (TGI) dos ruminantes. Os CF, representados pela celulose e hemicelulose, juntamente com a lignina, são incompletamente disponíveis (MERTENS, 1997). Os CNF apresentam disponibilidade alta e constante entre os alimentos volumosos (em torno de 98%); entretanto, os CF das forrageiras apresentam disponibilidade muito variável, representando a fração que mais afeta a disponibilidade de energia para os ruminantes nos alimentos (Van SOEST, 1994).

A grande variação nos teores e constituintes de CF, CNF e a disponibilidade no rúmen dos CF observada na cana-de-açúcar, em função das variedades e da idade de corte, podem causar respostas variadas no desempenho animal, o que justifica a avaliação nutricional destas, assim como, o uso de sistemas de adequação de dietas para predizer o desempenho dos animais recebendo quantidades elevadas desta forragem (FERNANDES e outros, 2001).

Para atingir este objetivo, os carboidratos podem ser fracionados em: A (açúcares solúveis, com rápida degradação ruminal), B1 (amido e pectina), B2 (parede celular, com taxa de degradação mais lenta) e C (corresponde à fração não digerida ao longo de sua permanência no trato digestivo). Este fracionamento foi descrito por Sniffen e outros (1992), tendo como objetivo gerar dados para o sistema “Cornell Net Carbohydrate and Protein System” (CNCPS). A esquematização do fracionamento dos carboidratos está demonstrada na Figura 2.1.

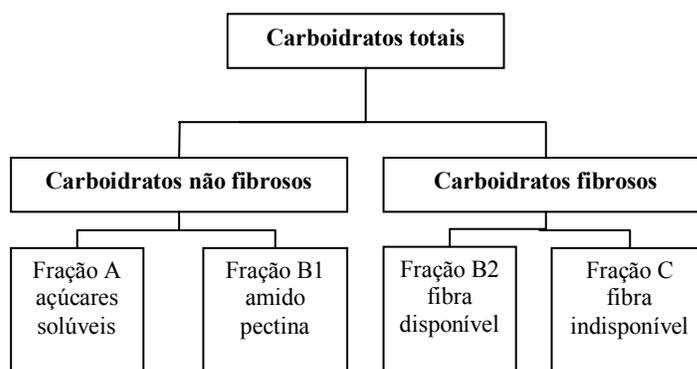


Figura 2.1 – Esquematização do fracionamento dos carboidratos em alimentos para ruminantes

2.4 Fracionamento dos compostos nitrogenados

A determinação da porção da proteína dos alimentos que se degrada no rúmen ou pós-rúmen trouxe grandes avanços no entendimento da nutrição animal. A introdução do CNCPS, um modelo dinâmico, possibilitou a melhor compreensão das interações das frações dos alimentos (SNIFFEN e outros, 1992; RUSSEL e outros, 1992; FOX e outros, 2003).

Atualmente, os sistemas de avaliação de alimentos para ruminantes que dão suporte à formulação de rações, exigem que os alimentos sejam fracionados no sentido de melhor caracterizá-los. Neste sentido, os compostos nitrogenados podem ser fracionados em: A (fração solúvel-NNP), B1 (fração rapidamente degradada no rúmen), B2 (fração insolúvel, com taxa de degradação intermediária no rúmen), B3 (fração insolúvel, lentamente degradada no rúmen) e C (fração insolúvel no rúmen e indigerível no intestino) (SNIFFEN e outros, 1992; FOX e outros, 2003).

A fração “A” possui alta digestibilidade no rúmen em função de ser constituída por nitrogênio não protéico (NNP). O restante do nitrogênio solúvel no tampão borato-fosfato é composta pela fração protéica B1, que é caracterizada como uma parte da proteína verdadeira, que também tem rápida degradação ruminal. A fração protéica “B2” apresenta taxa de degradação intermediária e é a fração da proteína que não é solúvel neste tampão, não fazendo também parte da parede celular.

A última das frações protéicas é a fração “B3”, que apresenta uma taxa de degradação ruminal muito lenta. A fração “B3” é encontrada pela subtração do nitrogênio ligado à fibra em detergente neutro (NIDN) e do nitrogênio ligado a fibra em detergente ácido (NIDA) (SNIFFEN e outros, 1992).

A fração “C” é composta pelo nitrogênio complexado na FDA (PIDA). Esta fração está associada com a lignina, formando complexos de tanino e

produtos da reação de Maillard que são altamente resistentes a degradação microbiana e enzimática (SNIFFEN e outros, 1992). Na Figura 2.2 está apresentado o fracionamento dos compostos nitrogenados.

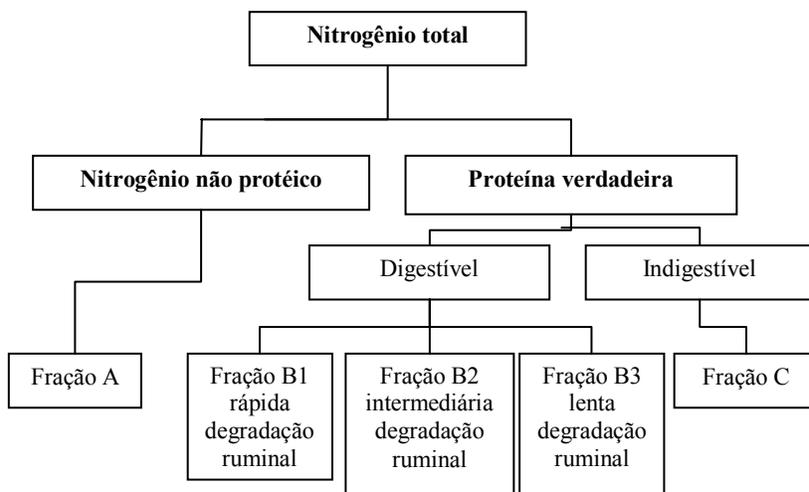


Figura 2.2 – Esquemática do fracionamento dos compostos nitrogenados em alimentos para ruminantes.

3. MATERIAL E MÉTODOS

As amostras analisadas neste experimento foram obtidas de cinco variedades de cana-de-açúcar utilizadas em um experimento instalado na Fazenda Experimental da Escola Agrotécnica Federal de Salinas¹, com o objetivo de estudar a produtividade e as características agronômicas destes alimentos volumosos. Localizada no município de Salinas–MG, este estabelecimento de ensino encontra-se situado na latitude 16° 10' sul e longitude de 42° 18' oeste a uma altitude média de 472 m. O clima da região corresponde na classificação de Koppen ao tipo AW, ou seja, clima quente e úmido, com estação chuvosa no verão.

O plantio das cinco variedades de cana foi realizado em novembro de 2003 e a colheita em outubro de 2004. O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados, composto de cinco tratamentos (variedades) e quatro repetições. Cada parcela foi constituída de seis linhas com 10 m de comprimento, no espaçamento de 1,3 m entre linhas, com uma área total de 78 m². O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho-Escuro, com textura média distrófico. Os resultados das análises químicas estão apresentados na Tabela 2.1.

Foi realizada adubação no plantio com 150 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ e de cobertura, aos 58 dias após o plantio, com 27 kg.ha⁻¹ de nitrogênio e 84 kg.ha⁻¹ de K₂O.

¹Dissertação Mestrado em Agronomia, de autoria de Barbosa, E. A., intitulada: Avaliação fitotécnica de cinco variedades de cana-de-açúcar para o município de Salinas - Minas Gerais, 2005, 70p.

As análises químicas do solo foram realizadas no Campus da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, no Laboratório de Solos, em Vitória da Conquista – BA.

Tabela 2.1 – Resultados das análises químicas das amostras de solo, coletadas na área experimental¹.

Determinações	Profundidade	
	0 à 20 cm	20 à 40 cm
pH em H ₂ O	5,9	6,3
P (mg/dm ³) ²	15	6
K ⁺ (cmol _c /dm ³) ²	0,38	0,14
Al ³⁺ (cmol _c /dm ³) ³	0	0
Ca ²⁺ (cmol _c /dm ³) ³	7,8	8,5
Mg ²⁺ (cmol _c /dm ³) ³	2,6	2,0
H ⁺ + Al ³⁺ (cmol _c /dm ³) ⁴	2,3	1,8
Saturação de bases (cmol _c /dm ³)	10,8	10,6
Saturação de bases (%)	82,0	85,0
CTC efetiva (cmol _c /dm ³)	10,8	10,6

¹Análise realizada no Laboratório de Solos da UESB.

²Extrator Mehlich⁻¹

³Extrator KCl 1 mol.

⁴Extrator Solução SMP, pH 7,5 a 7,6

3.1 – Variedades de cana-de-açúcar

As amostras analisadas foram das seguintes variedades: Java, RB72454, RB765418, SP79-1011, SP80-1842. As características destas variedades foram adaptadas de Barbosa (2005), como se segue:

3.1.1 - Variedade Java

Trata-se de uma variedade de maturação não determinada, apresenta baixa brotação da soqueira. Ela tende a apresentar também elevado grau de isoporização. Apresenta palha com abundante joçal. É a variedade mais tradicionalmente utilizada pelos produtores de aguardente da região de Salinas, Estado de Minas Gerais.

3.1.2 - RB72454

Esta variedade destaca-se por apresentar produtividade alta em cana-planta e cana-soca, rendimento agroindustrial alto, exigência em fertilidade do solo baixa, adaptabilidade ampla e estabilidade de produção alta. Em relação ao seu ciclo de produção é uma variedade médio-tardia. Apresenta potencial médio de brotação de soqueira e, por isso, sua colheita não é recomendável nos meses secos e frios, especialmente nos solos argilosos.

3.1.3 - RB765418

É considerada como uma variedade precoce, muito rica em açúcar. Apresenta entouceiramento ralo, com colmos decumbentes e de despalha regular, de diâmetro médio. É uma variedade exigente quanto à fertilidade do solo, com joçal duro, elevada riqueza em sacarose e alta precocidade. Estas características favorecem sua utilização no plantio de cana de ano.

3.1.4 - SP79-1011

Em relação a sua maturidade fisiológica, é considerada como variedade média tardia, com produção agrícola e industrial excelentes e boa brotação de soqueira. Possui uma exigência intermediária em relação à fertilidade do solo, mas susceptível à ferrugem e ao carvão, apresentando pouca isoporização.

3.1.5 - SP80-1842

Apresenta boa produção agrícola e é considerada de forma oposta a anterior como uma variedade de maturação precoce. Apresenta também excelente brotação de soqueira, porém, por apresentar sensibilidade à escaldadura em solos secos poderão ocorrer problemas de brotação. Em relação à fertilidade do solo, esta variedade apresenta exigência intermediária.

3.2 - Preparo das amostras

No momento da colheita, realizou-se a picagem individual dos colmos inteiros das cinco variedades de cana-de-açúcar, de acordo com o delineamento experimental. As amostras representativas dos colmos picados foram posteriormente levadas para a estufa de circulação forçada de ar a 55°C por 72 horas, para determinação da matéria seca parcial. Após a pré-secagem, o material foi moído em moinho de facas tipo “Wiley” em peneira com crivos de 1 mm de diâmetro. Posteriormente foram utilizados os procedimentos analíticos para caracterizar quimicamente as variedades nas amostras compostas dos quatro blocos, como também conduzir os ensaios de digestibilidade *in vitro*.

3.3 – Caracterização química das variedades de cana-de-açúcar

3.3.1 – Sistema de análise proximal e componentes da parede celular

As análises químicas para a determinação dos teores percentuais de matéria seca (MS), proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE) e matéria mineral (MM) foram realizadas seguindo procedimentos padrões da AOAC (1990). As análises de fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA) e lignina (em ácido sulfúrico a 72%) foram determinadas conforme Goering e Van Soest (1970) e Silva e Queiroz (2004).

3.3.2 - Fracionamento dos carboidratos

As estimativas das frações que compõem os carboidratos totais (CT) foram determinadas conforme Sniffen e outros (1992), calculados como se segue:

$$CT (\%) = 100 - (\%PB + \%EE + \%MM)$$

em que PB corresponde a proteína bruta; EE ao extrato etéreo e MM a matéria mineral da amostra.

Os carboidratos não fibrosos (CNF) foram calculados como se segue:

$$CNF (\%) = 100 - (\%PB + (\%FDN_{cp}) + \%EE + \%MM)$$

em que FDN_{cp} corresponde à fração FDN corrigida para o conteúdo analisado da matéria mineral e nitrogênio multiplicado pelo fator 6,25.

A fração “C” foi obtida multiplicando-se o % de lignina pelo fator 2,4, como se segue:

$$\text{Fração “C” (\%)} = \% \text{Lig} * 2,4$$

A fração “B2” (fibra disponível) foi obtida diminuindo a fibra em detergente neutro, corrigido para cinzas e proteína (FDNcp), da fração “C”.

$$\text{Fração “B2” (\%)} = \text{FDNcp (\%)} - \text{Fração “C” (\%)}$$

3.3.3 - Fracionamento protéico

No fracionamento dos compostos nitrogenados determinou-se inicialmente o nitrogênio não protéico (fração A), que foi obtido após o tratamento de 200 mg da amostra com 20 mL de água destilada por 30 minutos; posteriormente foi adicionado mais 4 mL de ácido tricloracético a 10%, permanecendo por mais 30 minutos. O resíduo foi então filtrado em papel filtro Whatman n° 54 onde foi determinado o teor de nitrogênio na fração residual retida no papel filtro, permitindo assim o cálculo da fração solúvel como se segue (LICITRA e outros, 1996):

$$\text{Fração “A” (\%)} = \% \text{NT} - \% \text{NR}$$

em que NT é o nitrogênio total e NR é o nitrogênio no resíduo

O nitrogênio solúvel total foi determinado após o tratamento da amostra com a solução tampão borato-fosfato por três horas. Esta solução foi preparada utilizando 12,2 g.L⁻¹ de fosfato de sódio (NaH₂PO₄.H₂O), 8,91 g.L⁻¹ de borato de sódio decahidratado (Na₂B₄O₇.10H₂O) e 100 mL de álcool butílico terciário. O

pH da solução foi ajustado para 6,8 com a adição de CO₂. O resíduo foi filtrado em papel filtro Whatman nº 54 onde foi determinado o seu teor de nitrogênio (LICITRA e outros, 1996). Após o tratamento da amostra com a solução tampão borato-fosfato, o nitrogênio solúvel total, que corresponde às frações “A” e “B1”, foi solubilizado ficando no resíduo retido no papel filtro o restante das frações nitrogenadas (frações “B2”, “B3” e “C”). A fração “B1” foi obtida depois de descontada a fração “A”, como se segue:

$$\text{Fração "B1" (\%)} = \%NT - (\%NR - \%N \text{ na Fração "A"})$$

As quantidades de soluções, tanto para a determinação do nitrogênio solúvel (fração “A”) quanto para a determinação do nitrogênio solúvel total (fração “A” e “B1”), foram reduzidas juntamente com as quantidades de amostras utilizadas nas determinações analíticas. Isso se fez necessário devido ao refluxo na fase de digestão para a determinação do nitrogênio no resíduo. As quantidades de amostra e soluções seguiram as mesmas proporções descritas por Licitra e outros (1996).

A fração “B3” foi determinada pela diferença entre o teor de nitrogênio insolúvel em detergente neutro (NIDN) e o nitrogênio insolúvel em detergente ácido (NIDA), como se segue:

$$\text{Fração "B3" (\%)} = \%NIDN - \%NIDA$$

em que NIDN é o nitrogênio determinado no resíduo da FDN e o NIDA é o nitrogênio determinado no resíduo da FDA.

A fração “C” foi considerada o NIDA e a fração “B2” foi obtida pela diferença entre o nitrogênio total e as frações “A”, “B1”, “B3” e “C”.

Na Figura 2.3 está apresentada uma esquematização do fracionamento dos compostos nitrogenados.

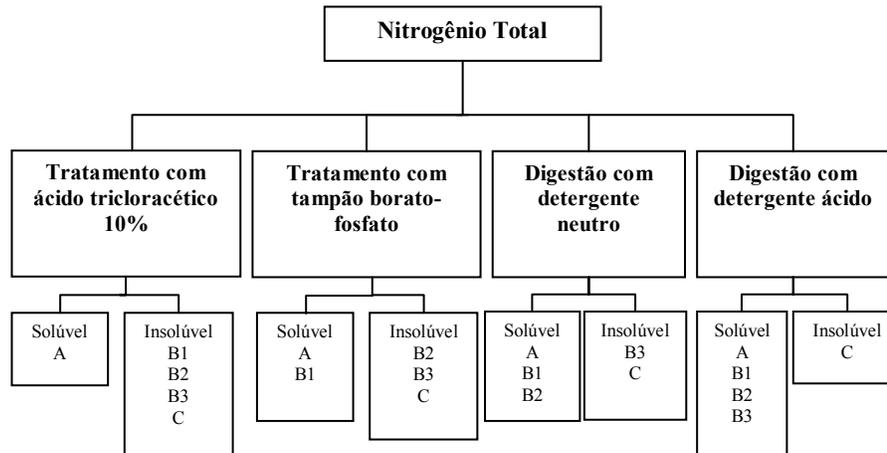


Figura 2.3 – Esquema analítico do fracionamento do nitrogênio total.

3.4 Estimativa dos nutrientes digestíveis totais (NDT)

Para determinação dos valores de nutrientes digestíveis totais (NDT) das cultivares de cana, procederam-se os cálculos de acordo com Weiss (1993), em nível de manutenção, como se segue:

$$\text{NDT (\%)} = 0,98 * (100 - \% \text{FDNn} - \% \text{PB} - \% \text{MM} - \% \text{EE} - (0,7 * \% \text{PIDA}) + ((\exp(-0,0012 * \% \text{PIDA})) * \% \text{PB}) + 2,70 (\% \text{EE} - 1) + 0,75 * ((\% \text{FDNn} - \% \text{LIG}) * (1 - (\% \text{LIG} / \% \text{FDNn})^{0,667})) - 7;$$

em que o coeficiente de digestibilidade da proteína bruta é calculado usando a proteína insolúvel em detergente ácido (PIDA), por intermédio da equação $\text{DVPB (\%)} = \exp(-0,0012 * \% \text{PIDA})$; PB, a proteína bruta; EE, a extrato etéreo;

FDNn, a fibra em detergente neutro corrigido para nitrogênio; MM, a matéria mineral; LIG, a lignina. Todos os valores, exceto da proteína bruta ligada à fibra em detergente neutro e ácido (% da PB), devem ser expressos como percentagem da matéria seca.

Os resultados analíticos e estimativas obtidas foram expressas por intermédio de estatística descritiva, englobando os valores médios e seus respectivos desvios padrões.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Figuras 2.4 e 2.5 estão apresentadas as médias mensais de precipitação pluviométrica (mm), temperaturas máximas e mínimas (°C), durante o período de condução do experimento no campo.

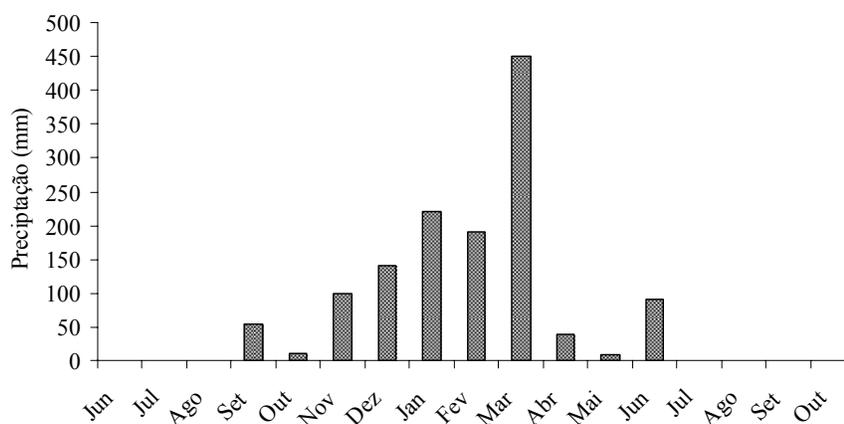


Figura 2.4 – Médias mensais de precipitação pluviométrica no período de junho de 2003 a outubro de 2004.

Na Figura 2.4, observa-se uma maior concentração de chuvas nos meses de novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e março. Neste último mês, registrou-se uma precipitação pluviométrica de aproximadamente 450 mm, contrastado com os meses de junho, julho e agosto (2003), como também no período de julho a outubro de 2004, quando não houve incidência de chuvas na região.

Na Figura 2.5, nota-se uma maior amplitude na variação das temperaturas máximas e mínimas registradas no decorrer do período de duração do experimento no campo. Nos meses de julho e agosto (2003 e 2004), as temperaturas mínimas situaram-se entre 5 e 10°C, enquanto que, para estes mesmos meses, as máximas alcançaram 30 – 35°C.

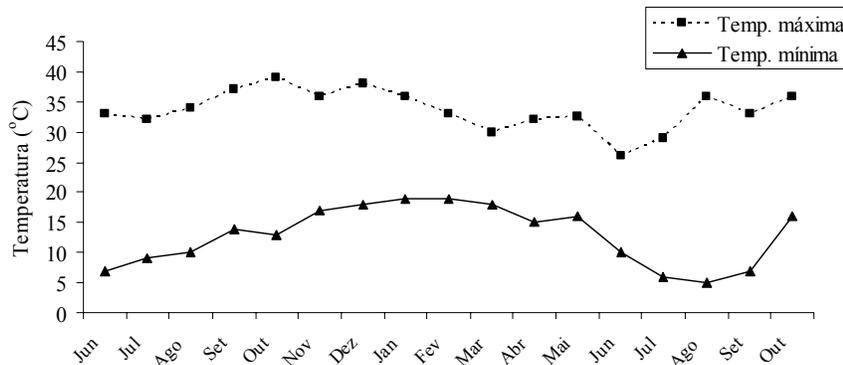


Figura 2.5 – Médias mensais de temperaturas máximas e mínimas, no período de junho de 2003 a outubro de 2004 em Salinas – MG.

Os resultados percentuais médios das análises químicas das cinco variedades de cana-de-açúcar estão descritos na Tabelas 2.2. Os valores de matéria seca (MS), matéria orgânica (MO), matéria mineral (MM) e extrato etéreo (EE) variaram entre 26,8 e 30,1%, 97,7 e 98,6%, 1,4 e 2,3%, 0,37 e 0,59%, respectivamente. Azevêdo e outros (2003a), avaliando a divergência nutricional de quinze variedades de cana-de-açúcar, encontraram valores de MS semelhantes ao deste estudo (23,1 a 28,7%). Valadares Filho e outros (2006), também encontraram valores semelhantes para MS, MO, MM e EE (28,1, 97,4, 2,9 e 1,5%, respectivamente). Pinto e outros (2003), coletando dados da literatura, reportaram para as variedades de cana RB 72454, RB 765418, SP791011 e SP 801842 os valores de 32,8; 29,1; 19,1 e 29,3% de MS respectivamente.

Tabela 2.2 – Teores percentuais médios de matéria seca (MS), matéria orgânica (MO), matéria mineral (MM), extrato etéreo (EE), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), hemicelulose (HEM), celulose (CEL) e lignina (LIG) em cinco variedades de cana-de-açúcar.

Itens (%MS)	Variedades				
	Java	RB72454	RB765418	SP79-1011	SP80-1842
MS (%)	26,8 ±0,38	28,5 ±0,65	28,8 ±0,34	29,4 ±0,87	30,1 ±1,30
MO (%)	98,0	97,9	98,1	97,7	98,6
MM (%)	2,0 ±0,37	2,1 ±1,22	1,9 ±1,12	2,3 ±0,84	1,4 ±0,07
EE (%)	0,50 ±0,09	0,37 ±0,10	0,37 ±0,09	0,45 ±0,04	0,59 ±0,20
FDN (%)	40,1 ±0,33	42,4 ±0,26	46,4 ±0,72	39,0 ±0,55	45,8 ±0,69
FDA (%)	24,5 ±1,60	26,4 ±0,70	29,3 ±0,90	22,8 ±0,43	28,5 ±0,30
HEM (%)	15,6	16,0	17,2	16,2	17,3
CEL (%)	20,0	21,1	21,9	18,9	22,1
LIG (%)	4,5 ±0,03	5,3 ±0,09	7,4 ±0,03	3,9 ±0,71	6,4 ±0,18
DVIVMS (%)	58,2 ±0,66	57,6 ±0,21	54,4 ±0,52	62,2 ±0,91	59,8 ±0,38
NDT ¹ (%)	64,0	60,8	54,3	65,7	57,3

¹NDT estimado de acordo com Weiss (1993) para 1x exigência de manutenção. $NDT (\%) = 0,98 * (100 - \%FDNn - \%PB - \%MM - \%EE - (0,7 * \%PIDA) + ((\exp (-0,0012 * \%PIDA)) * \%PB) + 2,70 (\%EE - 1) + 0,75 * ((\%FDNn - \%LIG) * (1 - (\%LIG / \%FDNn)^{0,667})) - 7;$

Os teores de fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA) variaram entre 39,0 a 46,4% e 22,8 a 29,3%, respectivamente. A variedade SP79-1011 apresentou os menores valores de FDN e FDA (39,0 e 22,8%, respectivamente).

Cerca de 50-75% das diferenças no desempenho produtivo de ruminantes alimentados com forragens ocorrem em função do seu consumo, 25-50%, relacionados à digestibilidade do volumoso e, 5 a 15%, a eficiência metabólica (MERTENS, 1997).

O fator primário que afeta o consumo de forrageiras tropicais é o seu conteúdo de parede celular, que limita fisicamente a sua ingestão a 1,2% do peso vivo do ruminante (MERTENS, 1994), permitindo assim o cálculo da ingestão

de matéria seca, em função do PV do animal, com base no resultado percentual do teor de FDN ($CMS (\% PV) = 120 / \%FDN$; MOORE e UNDERSANDER, 2002).

Rodrigues e outros (2001) avaliando 18 variedades de cana-de-açúcar constaram valores de FDN que variaram entre 44,2 a 56,4%. Fox e outros (2003) citam para a FDN valor de 57,1%, no entanto, Valadares Filho e outros (2006) reportam um valor médio de 55,87%, sendo mais elevados do que os listados na Tabela 2.2. Azevêdo e outros (2003b), avaliando três variedades de cana-de-açúcar, encontraram valores entre 43,8 a 47,6% para FDN, e 25,2 a 27,8% para FDA, sendo inferiores aos 34,08% apresentados por Valadares Filho e outros (2006), porém, mais próximos dos obtidos nesta pesquisa (Tabela 2.2).

Os teores de hemicelulose (HEM) e celulose (CEL) variaram entre 15,6 a 17,3% e 18,9 a 22,1%, respectivamente. A variedade RB765418 apresentou o maior valor de lignina (LIG) 7,4%, e a variedade SP79-1011 o menor valor 3,9%. Variação semelhante nos teores de LIG foi também observada por Azevêdo e outros (2003a e 2003b), concordando com Fox e outros (2003), que obtiveram resultados de 6,28% de LIG na cana.

A fibra dietética contém uma fração digestível e outras potencialmente degradáveis à diferentes taxas no rúmen (ISHER e VARGA, 2007). A LIG tende a formar um complexo com a hemicelulose presente na parede celular das forragens, influenciando negativamente sua digestibilidade (Van SOEST, 1994). Por isso, a elevação dos teores médios de lignina representa um indicativo de redução na digestibilidade da forragem.

Para a estimativa dos nutrientes digestíveis totais (NDT) calculados de acordo com Weiss (1993), a variedade SP79-1011 foi a que apresentou um maior valor (65,9%), seguida das variedades Java, RB72454, SP80-1842 e RB765418 (64,0%; 60,8%; 57,3% e 54,3% respectivamente).

Para as estimativas *in vivo*, o resultado dos nutrientes digestíveis totais consiste na soma das digestibilidades dos nutrientes orgânicos, contemplando adicionalmente um ajuste matemático (multiplicação pelo fator 2,25), para a fração lipídica. Para as forragens, os valores de NDT, aproximam-se aos da digestibilidade da matéria orgânica estando, para este fim, várias equações disponíveis.

As fórmulas mais recentes para o cálculo deste parâmetro contemplam a estimativa da digestibilidade verdadeira da FDN, corrigida para a LIG e nitrogênio, assim como a digestibilidade verdadeira da PB expurga a fração desta que é indisponível para os ruminantes (PIDA).

A equação utilizada no cálculo tem sido também utilizada nos sistemas do CNCPS (FOX e outros, 2003) e no NRC Gado de Leite (2001). Ela leva também em consideração no cálculo a energia perdida nas fezes (valor = 7%), que é deduzida da soma dos outros componentes digestíveis explicitados na fórmula

McDowell e outros (1974) publicaram resultados de 57,5% para o NDT da cana-de-açúcar obtido *in vivo*, ou seja, semelhantes aos encontrados para as variedades de cana estudadas (Tabela 2.2). Tedeschi e outros (2002) determinaram 61,1% de NDT calculado pela mesma fórmula de Weiss (1993) para a cana.

Os resultados médios de DVIVMS variaram de 54,4 (RB765418) a 62,2% (SP 791011) conforme dados apresentados na Tabela 2.2, bem próximos e segundo a mesma tendência dos encontrados para o NDT dos volumosos avaliados ($r = 0,7299$; $\hat{y} = 1,205x - 9,9469$; $R^2 = 0,54$). No procedimento de DVIVMS (GOERING e Van SOEST, 1970), substitui-se o segundo estágio do método tradicional desenvolvido originalmente por Tilley e Terry (1963), pela digestão em detergente neutro. A digestibilidade verdadeira assim mensurada difere da aparente no método tradicional *in vitro* citado anteriormente, porque

neste método estão presentes as perdas endógenas excretadas pelas fezes que, em média, situam-se em 12,9% da MS ingerida (MERTENS, 1997).

Na Tabela 2.3 estão apresentados os valores médios do fracionamento dos carboidratos. Os valores percentuais dos carboidratos totais (CT) foram semelhantes entre as variedades avaliadas (95,7 a 94,7%). Para os carboidratos não fibrosos (CNF) houve uma diferença de 6,8 pontos percentuais entre as variedades SP80-1842 e a variedade SP79-1011 (50,6 e 57,3%, respectivamente).

Tabela 2.3 – Teores médios percentuais de carboidratos totais (CT), carboidratos não fibrosos (CNF), fibra disponível (B2) e fibra indisponível (C) em cinco variedades de cana-de-açúcar.

Variedades	CT (%MS)	CNF (A+B1) (%MS)	B2 (%MS)	C (%MS)
Java	94,8	56,2	27,8	10,8
RB72454	94,7	54,0	28,0	12,7
RB765418	95,7	50,6	27,3	17,8
SP79-1011	95,7	57,3	29,0	9,4
SP80-1842	95,1	50,7	29,0	15,4

Os CNF incluem os açúcares, amido e outros carboidratos como as galactanas e pectinas. Embora estas últimas façam parte da parede celular, a sua inclusão como CNF se dá em função da sua rápida degradação e completa fermentação no rúmen (ISHLER e VARGA, 2007). Os teores de CNF possivelmente influenciaram os valores de NDT das variedades avaliadas, uma vez que esses carboidratos apresentam quase que completa disponibilidade nutricional para os ruminantes (Van SOEST, 1994).

Os valores de fibra disponível (B2) apresentaram menores variações entre as variedades estudadas (27,3 a 29,0%). Já para os valores de fibra

indisponível (C), os mesmos apresentaram variações entre 9,4 a 17,8%. Essas variações nos valores observados (fração C) conferem diferenças importantes entre essas variedades, uma vez que seu incremento indica uma menor digestibilidade dos carboidratos. Mello e outros (2006), avaliando a composição bromatológica de nove variedades de cana-de-açúcar, encontraram valores de CT, CNF, B2 e C, variando entre 92,8 a 95,2%, 41,0 a 50,1%, 31,4 a 38,3%, 12,1 a 14,8%, respectivamente.

Na Figura 2.6, estão representados graficamente os fracionamentos dos carboidratos das cinco variedades de cana-de-açúcar estudadas, relacionando-os percentualmente com os CT (base seca).

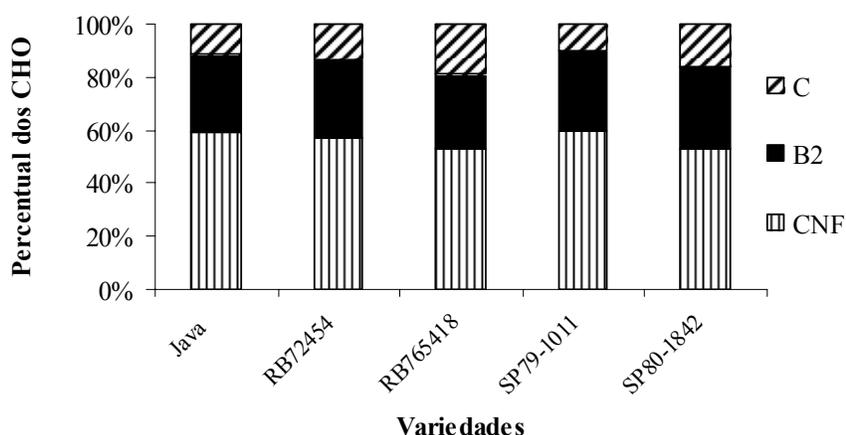


Figura 2.6 – Frações percentuais dos carboidratos de cinco variedades de cana-de-açúcar em relação aos CT.

As variedades precoces (RB765418 e SP80-1842) apresentaram maiores teores de FDN, FDA, e LIG, refletindo em menores teores de CNF e maiores teores de fração C. Em decorrência das variedades de maturação médio-tardia e Java (maturação não determinada), apresentarem qualidade superior na sua

composição química quando comparadas com as variedades de maturação precoce, as variedades de cana SP79-1011, Java e RB72454, também apresentaram os maiores teores de NDT estimado.

Esses resultados estão de acordo com os encontrados por Azevêdo e outros (2003b), que relacionaram o ciclo de maturação das três variedades de cana-de-açúcar estudadas com suas respectivas divergências nutricionais, encontrando resultados desfavoráveis para as variedades precoces.

Os resultados médios descritos para os CT (92,65%) e CNF (41,10%) por Valadares Filho e outros (2006) estão acima dos aqui determinados (Tabela 2.3).

Na Tabela 2.4 são apresentados os resultados médios de proteína bruta (PB) na MS e o fracionamento dos compostos nitrogenados (% do N total) das cinco variedades de cana-de-açúcar. Os valores de PB variaram entre 1,6 a 2,9% (SP79-1011 e SP80-1842, respectivamente). Estes reduzidos percentuais de PB na cana são pouco expressivos para contribuir minimamente com a demanda de nitrogênio para o sistema ruminal, evidenciando a necessidade de suplementação com outras fontes de nitrogênio.

Azevêdo e outros (2003b), avaliando a composição química das variedades SP80-1842, RB845257 e SP79-1011, encontraram valores de PB de 2,8, 2,4 e 2,4%, respectivamente. O valor de PB na variedade SP80-1842 foi semelhante ao deste estudo. Porém, na variedade SP79-1011, o valor de PB foi menor em relação ao encontrado pelos referidos autores, como também por Pinto e outros (2003), que citam valores de 2,2% de PB. Já Mello e outros (2006), encontraram valores de PB na variedade SP79-1011 semelhantes ao deste estudo (1,89%).

Houve considerável variação nos teores percentuais das frações A (6,40 a 42,60%), B1 (0,78 a 4,49%), B2 (28,61 a 51,65%), B3 (4,19 a 16,03%) e C (15,13 a 26,55%). Tedeschi e outros (2002) citam 55% de PB solúvel (A + B1)

na cana. Estas variações encontradas nas cinco cultivares de cana refletem provavelmente diferenças não só nos seus genótipos, mas também as interações destes com o ambiente. Estes resultados obtidos para as diferentes frações nitrogenadas influenciam a disponibilidade e degradabilidade, a diferentes taxas, do nitrogênio no rúmen, influenciando a qualidade nutricional deste volumoso. Isso evidencia as variações na qualidade nutricional existente dentro de uma mesma espécie (Van SOEST, 1994).

Tabela 2.4 – Teores percentuais médios e desvios padrões de proteína bruta (PB), nitrogênio não protéico (A), proteína verdadeira de rápida, intermediária e lenta degradação (B1, B2 e B3, respectivamente) e proteína indisponível (C) em cinco variedades de cana-de-açúcar.

Variedades	PB (% MS)	Frações protéicas (% do N total)				
		A	B1	B2	B3	C
Java	2,7 ±0,10	35,89 ±3,95	3,97 ±1,26	34,74	10,27 ±1,05	15,13 ±5,94
RB72454	2,8 ±0,01	42,60 ±3,68	4,49 ±0,89	28,61	7,33 ±4,33	16,97 ±4,95
RB765418	2,3 ±0,05	15,68 ±2,33	1,06 ±0,64	49,80	7,71 ±3,51	25,75 ±4,75
SP79-1011	1,6 ±0,08	6,40 ±0,29	0,78 ±0,38	50,24	16,03 ±2,39	26,55 ±5,48
SP80-1842	2,9 ±0,30	25,87 ±0,64	1,12 ±0,74	51,65	4,19 ±0,38	17,17 ±1,16

Pereira e outros (2000), estudando o fracionamento dos compostos nitrogenados em cana-de-açúcar, sem informar a variedade avaliada, encontraram valores de 1,50, 8,89, 71,01, 15,10 e 3,50% da PB, para as frações A, B1, B2, B3 e C, respectivamente. De acordo com os resultados demonstrados na Tabela 2.4, observa-se divergência de dados em relação aos reduzidos valores de 3,6% para a fração C, descrito por Valadares Filho e outros (2006).

Na Figura 2.7 estão apresentados graficamente os resultados do fracionamento dos compostos nitrogenados das diferentes variedades de cana-de-açúcar. Nas variedades Java e RB72454 a maior parte da PB está disponível na forma de nitrogênio não protéico (fração A) (35,89 e 42,60%). Já nas variedades RB765418, SP79-1011 e SP80-1842, a PB encontra-se disponível na fração que possui degradação enzimática intermediária (fração B2) (49,80, 50,24 e 51,65, respectivamente).

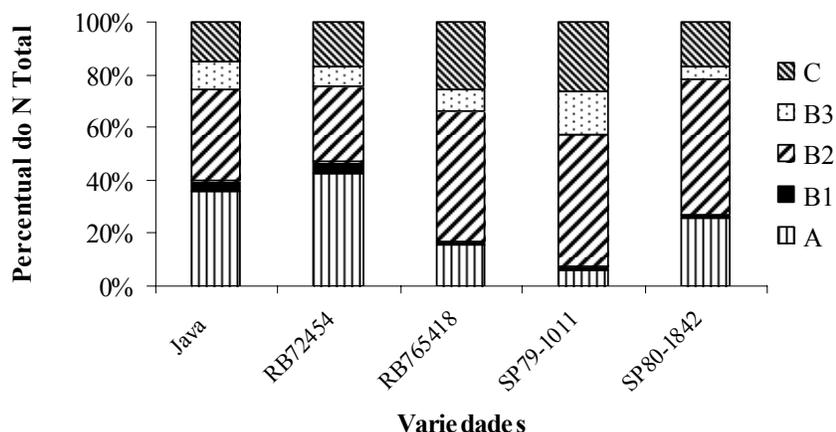


Figura 2.7 – Frações nitrogenadas das cinco variedades de cana-de-açúcar.

Em virtude de apresentar baixos teores de nutrientes tais como PB, MM e EE, a cana-de-açúcar possui limitações nutricionais que devem ser corrigidas, quando utilizada em dietas como alimento exclusivo para ruminantes.

Entre as cinco variedades de cana-de-açúcar avaliadas, as variedades de ciclo de produção médio-tardia (SP79-1011 e RB72454) e Java apresentaram superioridade em qualidade nutricional. Dentre elas a variedade SP79-1011 apresentou teores superiores, em relação as demais, de NDT, CNF e B2, apresentando também menores valores de LIG e conseqüentemente menores teores de fração C.

Esses resultados reforçam a importância da caracterização das diferentes frações da cana-de-açúcar, sendo instrumento valioso visando a maximização do crescimento microbiano ruminal e, conseqüentemente, a predição mais acurada do desempenho animal.

5. CONCLUSÕES

Em relação a composição química, a variedade de cana-de-açúcar SP79-1011 destacou-se, notadamente em relação aos teores médios de carboidratos não fibrosos e a fração de fibra disponível no rúmen. As variedades de ciclo de produção médio-tardia demonstraram qualidade nutricional superior em relação as variedades de ciclo precoce para estes parâmetros.

CAPÍTULO 3

CINÉTICA DA FERMENTAÇÃO RUMINAL “IN VITRO” DOS COLMOS INTEIROS E CARBOIDRATOS FIBROSOS DE CINCO VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR.

1. INTRODUÇÃO

Os carboidratos representam a principal reserva da energia fotossintética nos seres fotoautótrofos. Estes compostos constituem cerca de 60 a 80% da matéria seca (MS) de forrageiras, sendo a principal fonte de energia para os seres vivos compreendidos nos primeiros níveis tróficos. Para os ruminantes, eles tornam-se disponíveis indiretamente, por intermédio do processo fermentativo de origem microbiana no retículo-rúmen na forma de ácidos graxos voláteis (AGV), e diretamente, pela absorção de seus monômeros constituintes, nos intestinos desses animais (Van SOEST, 1994).

A produtividade animal é determinada basicamente pela qualidade da forragem ingerida. Essa qualidade é fortemente influenciada pela digestibilidade da forragem, a qual é inversamente proporcional ao conteúdo da fração fibrosa das plantas (carboidratos fibrosos). A baixa digestão ruminal da forragem ingerida aumenta o tempo de retenção do alimento no rúmen e, conseqüentemente, diminui a taxa de ingestão de matéria seca e o desempenho animal.

No passado se buscava o melhoramento deste volumoso para fins forrageiros, variedade de cana-de-açúcar que contivessem menores teores de açúcares e que produzissem mais de um corte por ano. A mudança nesse conceito ocorreu com a constatação de que a cana-de-açúcar tem o seu valor forrageiro aumentado com a elevação dos teores de sacarose (MATSUOKA e

HOFFMANN, 1993), aproximando-se assim dos mesmos propósitos da seleção de cultivares para fins industriais. Entretanto, muitas destas cultivares utilizadas pelas indústrias sucro-alcooleiras, não obstante ao fato de terem sido selecionadas para apresentarem elevados teores de sacarose, não foram ainda testadas em sistemas de produção de ruminantes.

Adicionalmente, tendo em vista as limitações de consumo da cana-de-açúcar provocado pelas características de sua fração fibrosa (AZEVEDO e outros, 2003b; FERNANDES e outros, 2001), torna-se também importante conhecer a qualidade de diferentes variedades, em relação aos teores de fibra e de variáveis da cinética de degradação ruminal da FDN, selecionando variedades mais digestíveis e, posteriormente, confrontá-las em estudos sobre características químico-bromatológicas, degradabilidade e teste de desempenho.

A técnica *in vitro* semi-automática de produção de gases apresenta comprovado 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 e outros, 1999).

Portanto, o objetivo deste trabalho foi determinar a cinética da fermentação ruminal *in vitro* dos colmos inteiros e frações de carboidratos não fibrosos (CNF) e carboidratos fibrosos (CF) de cinco variedades de cana-de-açúcar.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Produção de gases *in vitro*

Durante a evolução da avaliação de alimentos para ruminantes, diversas técnicas *in vitro*, *in situ* e *in vivo* foram desenvolvidas com o intuito de melhor caracterizá-los, como também facilitar a predição do desempenho animal a partir de certas características dos alimentos fornecidos na dieta.

As técnicas *in vitro* são uma alternativa viável para a avaliação de alimentos e tiveram bastante destaque após a introdução das técnicas de digestibilidade *in vitro* desenvolvidas por Tilley e Terry (1963) e de digestibilidade verdadeira *in vitro* da matéria seca introduzida por Goering e Van Soest (1970). Estas técnicas possibilitam compartimentalizar o aproveitamento do alimento em um estágio relacionado ao ambiente ruminal e outro ligado à digestão pós-ruminal (POSADA e NOGUERA, 2005).

A procura por métodos acurados, simples e rápidos para estimar a qualidade dos alimentos tem sido o objetivo de investigações na nutrição de ruminantes (PELL e SCHOFIELD, 1993). Os novos programas de avaliação de rações requerem informações detalhadas da cinética de digestão das diferentes frações que compõem os alimentos utilizados na alimentação dos ruminantes (SNIFFEN e outros, 1992; FOX e outros, 2003).

Através da simulação *in vitro* do ambiente ruminal, a técnica semi-automática de produção de gases (MAURÍCIO e outros, 1999), permite além de mensurar o desaparecimento de material no decorrer do tempo, através da quantificação dos resíduos após a incubação, ela possibilita a avaliação da cinética fermentativa, uma vez que esta técnica também mede a formação de

subprodutos (gases) da ação microbiana durante o processo de degradação do substrato.

Como exemplos da primeira aproximação da técnica de produção de gases, estão o método manométrico e o método desenvolvido na Universidade de Höhennheim na Alemanha. No primeiro mede-se a quantidade de água deslocada, devido à acumulação de gases. No segundo utilizam-se seringas de vidro, sendo que na medida em que ocorre a produção de gases o êmbolo da seringa se desloca proporcionalmente a quantidade de gases produzidos (POSADA e NOGUERA, 2005).

A técnica de produção de gases é um método *in vitro* que permite determinar a cinética de degradação ruminal dos alimentos através do volume de gás produzido durante o processo fermentativo (SCHOFIELD e outros 1994). Estudos recentes têm demonstrado que a produção de gases possui alta correlação com a degradabilidade ruminal do alimento. A grande praticidade desta metodologia está na facilidade de se medir a produção de gases com o uso de um transdutor de pressão e a pequena quantidade necessária de material para a condução do ensaio (SCHOFIELD e outros 1994; THEODOROU e outros, 1994; BLÜMMEL e outros, 1997; MAURÍCIO e outros, 1999).

A técnica de produção de gases, diferente da técnica de degradabilidade ruminal *in situ*, oferece a possibilidade de estabelecer a cinética de degradação ruminal da fração solúvel do substrato no processo fermentativo e determina de forma mais precisa o efeito dos princípios antinutricionais presentes nos alimentos (GETACHEW e outros, 1998).

Qualquer consideração sobre a utilização de forragens pelos ruminantes deve basear-se no contexto das complexas interações que ocorrem entre os diversos componentes da planta e os microrganismos ruminais. Sendo assim, o conhecimento de como ocorre e quanto é eficiente a degradação dos alimentos

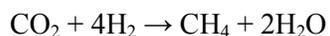
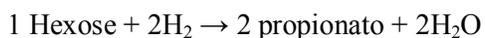
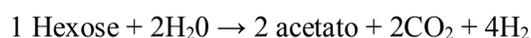
pelos microorganismos ruminais é de extrema importância em estudos de avaliação de alimentos para ruminantes (MAURÍCIO e outros, 1999).

2.2 Origem dos gases

A energia para o crescimento microbiano é derivada da fermentação dos carboidratos nos compartimentos fermentativos (retículo-rúmen) dos ruminantes, onde ocorre a produção de ácidos graxos voláteis (AGV), succinato, formato, lactato, etanol, dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e traços de hidrogênio (H₂) (MAKAR, 2001).

A técnica de produção de gases *in vitro* mede a quantidade de gases liberado diretamente como um produto da fermentação ruminal (SCHOFIELD e outros, 1994). Esta registra o acúmulo do volume de gases, estabelecendo relações estequiométricas entre a produção de AGV e o volume de gases produzidos (BLÜMMEL e outros, 1999).

As relações estequiométricas podem ser descritas da seguinte forma (HUNGATE, 1966, citado por POSADA e NOGUERA, 2005):



A fermentação de 1 mol de glicose produz 1,6 mol de gases (CO₂ e CH₄) e 1,8 mol de AGV, conforme a reação teórica descrita por Schofield (2000) como se segue:

1 glicose → 1,2 acetato + 0,4 propionato + 0,2 butirato + 1 CO₂ + 0,6 CH₄ + 0,4 H₂O

Sabe-se que a relação acetato:propionato obtido para substratos semelhantes pode alterar o volume de gases. A produção de propionato necessita de H₂ do meio (única que consome de H₂), diminuindo a produção de gases (CO₂ e CH₄), enquanto a produção de acetato tende a produzir mais CH₄ e CO₂ (BLÜMMEL e outros, 1997).

2.3 Modelo matemático para descrição das curvas de produção de gases *in vitro*

Para o ajuste dos perfis acumulados de gases é necessário uma equação apropriada que permita resumir as informações sobre a cinética da fermentação ruminal do substrato. Assim, a descrição matemática das curvas de produção acumulada de gases possibilita a comparação dos substratos, a avaliação de diferentes ambientes de fermentação e proporciona informações sobre a qualidade nutricional do substrato e as suas respectivas taxas de fermentação ruminal dos constituintes solúveis e estruturais (GROOT e outros, 1996; NOGUERA e outros, 2004).

Diversos modelos matemáticos podem descrever o perfil de fermentação ruminal, sendo o modelo bicompartimental proposto por Schofield e outros (1994), o mais comumente utilizado para a avaliação da cana-de-açúcar (MALAFAIA, 1997; AZEVÊDO e outros, 2003b; FERNANDES e outros, 2003), descrito a seguir:

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

em que V refere-se ao volume total de gases; Vf1 equivale ao volume máximo de produção de gás dos carboidratos não fibrosos (CNF); C1 corresponde a taxa de degradação (%/h) desta mesma fração; Vf2 refere-se ao volume máximo de produção de gases da fração dos carboidratos fibrosos (CF); C2 representa a taxa de degradação (%/h) dos CF; e T e L referem-se aos tempos de incubação (em horas) e a latência ou tempo de colonização (em horas), respectivamente.

Este modelo permite dividir a produção acumulada de gases produzidos pela fermentação do substrato em duas fases distintas, uma rápida e outra de lenta degradação ruminal. Por isso, adequa-se para a cana-de-açúcar que possui frações de carboidratos não fibrosos (CNF) e outra de carboidratos fibrosos (CF) distintas.

2.4 Curvas de subtração

Em relação à solubilidade, os alimentos utilizados nas dietas para ruminantes podem ser constituídos de frações solúveis nas soluções de detergentes e nas frações insolúveis nestes solventes (SCHOFIELD e PELL, 1995). Ambas as frações são de natureza química complexa, podendo conter moléculas simples, homopolímeros e heteropolímeros. A fração solúvel em detergente neutro é constituída de amido, pectina, açúcares simples, compostos nitrogenados, lipídios e minerais, enquanto que a fração insolúvel é composta por celulose, hemicelulose e a lignina (Van SOEST, 1994). A importância do conhecimento da quantidade e da dinâmica da degradação ruminal destas frações reside no fato de proporcionarem diferenças significativas na produção de ácidos graxos voláteis (AGV) e no crescimento microbiano ruminal.

Os alimentos utilizados na alimentação de ruminantes podem ser constituídos de carboidratos não fibrosos (CNF), que compreendem os açúcares simples e seus polímeros de cadeia curta, substâncias pécicas e amido, além de

proteínas, polifenóis solúveis, ácidos orgânicos e lipídios. Essas substâncias possuem um papel importante no processo inicial de digestão da forragem, tendo sua importância diminuída nas etapas posteriores.

A digestão ruminal dos carboidratos não fibrosos se verifica entre 1 e 12 h após sua ingestão e pode ser responsável pela maior parte da quantidade dos AGV produzidos no rúmen. Isso se justifica, especialmente para a cana-de-açúcar uma vez que a contribuição gasogênica dos minerais, dos lipídios e dos compostos nitrogenados é desprezível e a fermentação dos CF é variável (SCHOFIELD e PELL, 1995).

O conhecimento da digestão ruminal dos CNF é escasso, pois o método *in situ*, convencionalmente usado para estimar os parâmetros cinéticos da degradação ruminal mede o desaparecimento gravimétrico da fração insolúvel do alimento. Dessa forma, apenas empregando-se técnicas metabólicas que avaliam a produção microbiana de gases, é possível estimar os parâmetros cinéticos da degradação dos CNF (MALAFAIA, 1997).

Schofield e Pell (1995) apresentaram as curvas de subtração como um método indireto que fornece informação sobre a cinética de digestão da fração dos CNF. A contribuição da produção de gases da fração dos CNF, que no Sistema de Carboidratos e Proteínas “Líquidos” para a Avaliação da Nutrição de Rebanhos e Excreção de Nutrientes (CNCPS) corresponde as frações “A” e “B1”, pode ser calculada pela diferença no volume de gases produzidos pela matéria seca do substrato e sua respectiva fibra em detergente neutro (FDN) (SCHOFIELD e PELL, 1995; MALAFAIA, 1997; NOGUEIRA e outros 2006).

A avaliação dos componentes químico-bromatológicos do fracionamento protéico e dos carboidratos e das variáveis da cinética de degradação dos carboidratos fibrosos (CF) e dos carboidratos não fibrosos (CNF) das variedades de cana-de-açúcar, permite separar as frações que são completamente indigestíveis ou aquelas que reduzem a disponibilidade de energia para os

microrganismos e estariam negativamente correlacionadas com a ingestão de matéria seca, devido ao seu efeito negativo sobre a repleção ruminal. Conseqüentemente, a proporcionalidade destas frações interfere na eficiência de síntese de proteína microbiana e seu suprimento para o intestino delgado, influenciando, assim, o desempenho animal (AZEVEDO e outros, 2003b).

2.5 Fator de partição e produção de biomassa microbiana

O fator de partição (FP) é dado pela relação do substrato verdadeiramente degradado (mg) dividido pelo volume de gases produzidos (mL). Este fator diminui com o tempo de incubação, de tal forma que a produção de gases, AGV e biomassa microbiana por unidade de substrato verdadeiramente degradado não é uma constante e uma relação inversa pode existir entre eles. A explicação reside na variação da produção de biomassa microbiana por unidade de ATP gerado (Y_{ATP}) (LÓPEZ e outros, 1998; BLÜMMEL e outros, 1997).

Blümmel e outros (1999) sugerem a combinação de medições de gases *in vitro* com determinações de resíduo verdadeiramente degradado depois de vários períodos de incubação. O resíduo verdadeiramente degradado é obtido após o tratamento do mesmo, ao termino da fermentação ruminal *in vitro*, com a solução de detergente neutro com o objetivo de remover toda a biomassa microbiana (GOERING e Van SOEST, 1970).

Segundo Blümmel e outros (1997) a biomassa microbiana pode ser obtida pela diferença entre o substrato verdadeiramente degradado e o substrato aparentemente degradado.

Diferentes valores de FP *in vitro* podem também refletir a síntese de proteína microbiana *in vivo*, estimados a partir dos derivados de purina *in vivo* na urina e na produção de metano pelos ruminantes. Estes resultados demonstram que o cálculo do FP *in vitro* fornece informação relevante, possibilitando mais

uma ferramenta para predição do consumo de matéria seca, produção de biomassa microbiana no rúmen e a emissão de metano pelo ruminante (BLÜMMEL e outros, 1999).

3. MATERIAL E MÉTODOS

As amostras analisadas neste experimento foram obtidas de cinco variedades de cana-de-açúcar utilizadas em um experimento instalado na Fazenda Experimental da Escola Agrotécnica Federal de Salinas¹, com o objetivo de estudar a produtividade e as características agronômicas destes alimentos volumosos. Localizada no município de Salinas–MG, este estabelecimento de ensino encontra-se situado na latitude 16° 10' sul e longitude de 42° 18' oeste a uma altitude média de 472 m. O clima da região corresponde na classificação de Koppen ao tipo AW, ou seja, clima quente e úmido, com estação chuvosa no verão.

O plantio das cinco variedades de cana foi realizado em novembro de 2003 e a colheita em outubro de 2004. O experimento foi montado no delineamento em blocos casualizados, composto de cinco tratamentos (variedades) e quatro repetições. Cada unidade experimental foi constituída de seis linhas com 10 m de comprimento, no espaçamento de 1,3 m entre linhas, com uma área total de 78 m². O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho-Escuro, com textura média distrófico.

Foi realizada adubação no plantio com 150 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ e de cobertura, aos 58 dias após o plantio, com 27 kg.ha⁻¹ de nitrogênio e 84 kg.ha⁻¹ de K₂O.

As análises químicas foram realizadas no Campus da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, no Laboratório de Nutrição Animal, em Vitória da Conquista – BA.

¹Dissertação Mestrado em Agronomia, de autoria de Barbosa, E. A., intitulada: Avaliação fitotécnica de cinco variedades de cana-de-açúcar para o município de Salinas - Minas Gerais, 2005, 70p.

3.1 – Variedades de cana-de-açúcar

As amostras analisadas foram das seguintes variedades: Java, RB72-454, RB76-5418, SP79-1011, SP80-1842. As características destas variedades foram adaptadas de Barbosa (2005), como se segue:

3.1.1 - Variedade Java

Trata-se de uma variedade de maturação não determinada, apresenta baixa brotação da soqueira. Ela tende a apresentar também elevado grau de isoporização. Apresenta palha aderida com bastante joçal. É a variedade mais tradicionalmente utilizada pelos produtores da região de Salinas, Estado de Minas Gerais.

3.1.2 - RB72454

Esta variedade destaca-se por apresentar produtividade alta em cana-planta e cana-soca, rendimento agroindustrial alto, exigência em fertilidade do solo baixa, adaptabilidade ampla e estabilidade de produção alta. Apresenta potencial médio de brotação de soqueira e, por isso, sua colheita não é recomendável nos meses secos e frios, especialmente nos solos argilosos.

3.1.3 - RB765418

É considerada como uma variedade precoce, muito rica em açúcar. Apresenta entouceiramento ralo, com colmos decumbentes e de despalha regular, de diâmetro médio. É uma variedade exigente quanto à fertilidade do solo, com

joçal duro, elevada riqueza em sacarose e alta precocidade. Estas características favorecem sua utilização no plantio de cana de ano.

3.1.4 - SP79-1011

Em relação a sua maturidade fisiológica, é considerada como variedade média tardia, com produção agrícola e industrial excelentes e boa brotação de soqueira. Possui uma exigência intermediária em relação à fertilidade, mas susceptível a ferrugem e ao carvão e apresenta pouca isoporização.

3.1.5 - SP80-1842

Apresenta boa produção agrícola e é considerada, de forma oposta a anterior, como uma variedade de maturação precoce. Apresenta também excelente brotação de soqueira, porém, por apresentar sensibilidade à escaldadura em solos secos poderão ocorrer problemas de brotação. Em relação à fertilidade do solo, esta variedade apresenta exigência intermediária.

3.2 - Preparo das amostras

No momento da colheita, realizou-se a picagem individual dos colmos inteiros das cinco variedades de cana-de-açúcar, de acordo com o delineamento experimental. Os colmos foram posteriormente levados para a estufa de circulação forçada de ar à 55°C por 72 horas, para determinação da pré-secagem. Após a pré-secagem o material foi moído em moinho de facas tipo “Wiley” em peneira com crivos de 1 mm de diâmetro. As amostras assim obtidas foram

utilizadas nos ensaios de cinética da fermentação ruminal, utilizando a técnica *in vitro* semi-automática de produção de gases (MAURÍCIO e outros, 1999).

Para a realização dos ensaios de fermentação *in vitro* da fração dos carboidratos fibrosos (CF), procedeu-se o preparo inicial das amostras que consistiu na realização prévia de uma análise de fibra em detergente neutro (FDN), pesando-se três gramas de amostra e digerindo em 300 mL de solução de detergente neutro (GOERING e Van SOEST, 1970; SILVA e QUEIROZ, 2004). O resíduo da filtração em cadinhos com porosidade nº 1 (50 mL) foi então lavado seqüencialmente cinco vezes com água quente, duas vezes com acetona e outras cinco vezes com água quente, no intuito de retirar todo o resíduo de detergente que viesse a prejudicar a fermentação *in vitro*.

3.3 – Análises químicas

As análises químicas para a determinação dos teores percentuais de matéria seca (MS), proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE) e matéria mineral (MM) foram realizadas seguindo procedimentos padrões da AOAC (1990). As análises de fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA) e lignina (em ácido sulfúrico a 72%) foram determinadas conforme Goering e Van Soest (1970), Silva e Queiroz (2004).

Para os cálculos dos carboidratos totais (CT) e carboidratos não fibrosos, foi realizado conforme Sniffen e outros (1992), calculados como se segue:

$$CT (\%) = 100 - (\%PB + \%EE + \%MM)$$

em que PB corresponde a proteína bruta; EE ao extrato etéreo e MM a matéria mineral da amostra.

$$\text{CNF (\%)} = 100 - (\%PB + (\%FDN_{cp}) + \%EE + \%MM)$$

em que FDN_{cp} corresponde a fração FDN corrigida para o conteúdo analisado da matéria mineral e nitrogênio multiplicado pelo fator 6,25.

3.4 - Incubação *in vitro* das amostras

Em frascos de 160 mL foi adicionado CO₂ e 1 g de amostra (1 mm). As incubações foram realizadas separadamente para a matéria seca (MS) dos colmos inteiros e para os resíduos da FDN dos mesmos.

Foram utilizadas réplicas para os colmos inteiros e os resíduos da FDN, perfazendo um total de quatro frascos por variedade e mais dois frascos contendo apenas fluido ruminal e meio de cultura (saliva artificial), que foi utilizada como controle. A produção de gases nestes últimos foi descontada das obtidas nos frascos que continham as amostras.

Em cada frasco foi adicionado 90 mL de meio de cultura (THEODOROU e outros, 1994; Tabela 3.1), com o auxílio de uma proveta, sendo vedados com tampas de borrachas expansivas. O meio de cultura foi preparado nos dias anteriores à incubação. Os reagentes utilizados, assim como suas respectivas quantidades estão apresentados na Tabela 3.1.

O fluido ruminal (10 mL por frasco) utilizado na incubação foi proveniente de três vacas da raça holandesa portadoras de cânula no rúmen, que foram mantidas com alimentação diária de 1 kg de farelo de trigo, capim napier (*P. purpureum*) e cana-de-açúcar picados (1:1 na matéria natural) *ad libitum*.

Tabela 3.1 – Reagentes e quantidades utilizadas no preparo do meio de cultura descrito por Theodorou e outros (1994).

Reagentes	Fórmula Química	Quantidades (g.L ⁻¹)	Quantidades 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	
Carbonato de sódio	NaHCO ₃	35	
2 – Solução Macromineral			208,1
Fosfato de sódio	Na ₂ HPO ₄ .12H ₂ O	9,45	
Fosfato de potássio	KH ₂ PO ₄	6,2	
Sulfato de magnésio	MgSO ₄ .7H ₂ O	0,6	
3 – Solução Micromineral			0,1
Cloreto de cálcio	CaCl ₂ .2H ₂ O	132	
Cloreto de manganês	MnCl ₂ .4H ₂ O	100	
Cloreto de cobalto	CoCl ₂ .6H ₂ O	10	
Cloreto férrico	FeCl ₃ .6H ₂ O	80	
4 – Solução de Meio B			62,4
Cisteína	C ₃ H ₈ NO ₂ SCl.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	Resazurina	0,01	1,0
Total			1.000

3.5 - Horários de leitura da produção de gases e de degradação *in vitro*

Os horários de leituras da produção de gases foram de 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 17, 20, 24, 28, 32, 48, 72, e 96 h, após o início do processo de fermentação *in vitro*. Os tempos de degradação *in vitro* foram de 12, 24, 48 e 96 h, onde os resíduos de colmos inteiros e frações de CF das cinco variedades de cana-de-açúcar, após a fermentação *in vitro*, foram filtrados em cadinhos com porosidade nº 1 (Vidrotec®). As leituras de pressão foram realizadas de forma semi-automática com a ajuda de um transdutor de pressão tipo T443A, Bailey & Mackey (Inglaterra), tendo uma agulha acoplada em sua extremidade. Posteriormente, as leituras de pressão foram ajustadas para o volume de gases produzidos utilizando a equação proposta por Figueiredo e outros (2003).

3.6 – Produção de Biomassa microbiana

Com o intuito de se obter a produção de biomassa microbiana foi realizada uma degradabilidade verdadeira *in vitro* nas diferentes amostras.

Em uma repetição das amostras (MS e resíduo da FDN) foram determinadas as degradabilidades verdadeiras *in vitro* da matéria seca e dos resíduos da FDN, digerindo o resíduo da fermentação em 100 mL de solução de FDN por 1 h, filtrando o resíduo em cadinho nº 1 e secando a 105 °C por 24 h (GOERING e VAN SOEST, 1970). Na outra repetição, foi determinada a degradabilidade *in vitro* da matéria seca, sendo os resíduos da fermentação filtrados diretamente em cadinhos nº 1, que foram então colocados em estufa a 105 °C por 24 h (MAURÍCIO e outros, 1999). As degradabilidades foram realizadas em cada tempo de degradação.

A biomassa microbiana ($\text{mg} \cdot 100\text{mg}^{-1}$ de MS digestível) foi obtida da seguinte maneira (BLÜMMEL e outros, 1997):

$$\text{Biomassa microbiana (mg.100mg}^{-1}) = \text{DVI (mg.100mg}^{-1}) - \text{DA (mg.100mg}^{-1})$$

em que DIV corresponde a degradabilidade verdadeira *in vitro* da MS e DA corresponde a degradabilidade aparente da MS *in vitro*.

3.7 - Fator de partição

O fator de partição expressa a relação entre o substrato verdadeiramente degradado (mg) e o volume de gases produzidos (mL), em cada tempo de degradação (BLÜMMEL e outros, 1997).

$$\text{FP (mg.mL}^{-1}) = \text{DVIVMS (mg) / PG (mL)}$$

em que DVIVMS é a degradabilidade verdadeira *in vitro* da MS e PG é a produção de gases.

3.8 – Cálculo dos parâmetros por meio do modelo matemático

Para o cálculo dos parâmetros da produção de gases foi utilizado o modelo bicompartimental proposto por Schofield e outros (1994), descrito a seguir:

$$V = \text{Vf1} / (1 + \exp(2 - 4 * \text{C1} * (\text{T} - \text{L}))) + \text{Vf2} / (1 + \exp(2 - 4 * \text{C2} * (\text{T} - \text{L})))$$

em que Vf1 equivale ao volume máximo de produção de gases dos carboidratos não fibrosos (CNF); C1 corresponde a taxa de degradação (%.h⁻¹) da mesma

fração; Vf2 refere-se ao volume máximo de produção de gases da fração dos carboidratos fibros (CF); C2 representa a taxa de degradação (%.h⁻¹) dos CF; e T e L referem-se aos tempos de incubação (em horas) e a latência (em horas), respectivamente.

As estimativas dos parâmetros descritos no modelo matemático foram realizadas utilizando-se métodos iterativos não lineares. Estes resultados ajustados, por estimativas de quadrados mínimos, foram obtidos a partir do uso método Gauss – Newton, dentro do procedimento NLIN, com o auxílio do programa SAS (1996).

3.9 - Delineamento e análise estatística

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, onde os tratamentos consistiram-se nas cinco variedades de cana-de-açúcar testadas, e as repetições, cada uma das três rodadas de incubação ruminal, quando o inoculo utilizado foi proveniente de uma das três vacas portadoras de cânula ruminal.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados percentuais médios das análises químicas das cinco variedades de cana-de-açúcar estão descritos na Tabelas 3.2. Os valores de matéria seca (MS), matéria mineral (MM), proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA) e lignina (LIG) variaram entre 26,8 e 30,1%, 1,4 e 2,3%, 1,6 e 2,8%, 0,37 e 0,59%, 39,0 e 46,4%, 22,8 e 29,3% e 3,9 e 7,4%, respectivamente. Esses resultados estão semelhantes aos compilados por Valadares Filho e outros (2006).

Tabela 3.2 – Valores percentuais médios e desvios padrões da matéria seca (MS), matéria mineral (MM), proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), carboidratos totais (CT), carboidratos não fibrosos (CNF) e lignina (LIG) de cinco variedades de cana-de-açúcar.

Itens (%MS)	Variedades				
	Java	RB72454	RB765418	SP79-1011	SP80-1842
MS	26,8 ±0,38	28,5 ±0,65	28,8 ±0,34	29,4 ±0,87	30,1 ±1,30
MM	2,0 ±0,37	2,1 ±1,22	1,9 ±1,12	2,3 ±0,84	1,4 ±0,07
PB	2,7 ±0,10	2,8 ±0,01	2,3 ±0,05	1,6 ±0,08	2,9 ±0,30
EE	0,50 ±0,09	0,37 ±0,10	0,37 ±0,09	0,45 ±0,04	0,59 ±0,20
FDN	40,1 ±0,33	42,4 ±0,26	46,4 ±0,72	39,0 ±0,55	45,8 ±0,69
FDA	24,5 ±1,60	26,4 ±0,70	29,3 ±0,90	22,8 ±0,43	28,5 ±0,30
LIG	4,5 ±0,03	5,3 ±0,09	7,4 ±0,03	3,9 ±0,71	6,4 ±0,18
CT	94,8	94,7	95,7	95,7	95,1
CNF	56,2	54,0	50,6	57,3	50,7

Mello e outros (2006), avaliando a composição química de nove variedades de cana-de-açúcar, encontraram valores de MS, MM, PB, EE, FDN e

FDA variando entre 22,6 e 26,9%, 2,3 e 3,5%, 1,9 e 3,3%, 0,61 e 0,89%, 44,2 e 52,1%, 28,4 e 33,5%, respectivamente.

Os valores de carboidratos totais (CT) e carboidratos não fibrosos (CNF) variaram entre 94,7 e 95,7% e 50,6 e 57,3%, respectivamente. Houve pequena variação entre os resultados de CT entre as variedades de cana avaliadas, o que dificulta a escolha de uma delas baseada na composição química (AZEVEDO e outros, 2003b). Já para os CNF houve variação de 13% em relação ao menor e ao maior valor (RB765418 e SP70-1011, respectivamente), se constituindo, portanto, em um indicativo para a escolha entre esses volumosos.

Fernandes e outros (2001), avaliando diferentes variedades de cana-de-açúcar, também encontraram valores médios de CT e CNF de 95,0 e 50,4, respectivamente.

Na Tabela 3.3 estão descritos os resultados médios de produção acumulada de gases (PAGMS), degradabilidade verdadeira *in vitro* (DVIMS), fator de partição (FPMS), degradabilidade aparente *in vitro* (DAMS) e biomassa microbiana (BIOMS) da matéria seca (MS), nos diferentes tempos de incubação (12, 24, 48 e 96 h) de cinco variedades de cana-de-açúcar.

Na PAGMS às 12 h, a variedade Java diferiu ($P < 0,05$) das variedades SP80-1842 e RB765418. Os valores de PAGMS às 24 h a variedade SP79-1011 (147,5 mL) foi superior ($P < 0,05$) em relação as variedades RB765418 e SP80-1842 (125,2 e 136,8 mL, respectivamente).

Para os valores de PAGMS às 48 e 96 h, a variedade SP79-1011 (202,1 e 241,2 mL, respectivamente) apresentou diferença significativa ($P < 0,05$) em comparação com as variedades RB765418 (167,2 e 201,6 mL, respectivamente), RB72454 (187,9 e 225,9 mL, respectivamente) e SP80-1842 (182,5 e 220,0 mL, respectivamente). A variedade Java não diferiu significativamente ($P > 0,05$) em relação a variedade SP79-1011, para os valores de PAGMS às 48 e 96 h.

Tabela 3.3 – Valores médios de produção acumulada de gases (PAGMS; mL), degradabilidade verdadeira *in vitro* (DVIVMS; %), fator de partição (FPMS; mg.mL⁻¹), degradabilidade aparente *in vitro* (DAMS; %) e biomassa microbiana (BIOMS; mg.100mg⁻¹ de MS digestível) da matéria seca (MS) de cinco variedades de cana-de-açúcar às 12, 24, 48 e 96 h de incubação *in vitro*.

Itens	Variedades					CV (%)
	Java	RB72454	RB765418	SP79-1011	SP80-1842	
PAGMS12	104,5 ^a	98,3 ^{ab}	88,1 ^c	102,3 ^{ab}	96,3 ^b	2,28
PAGMS24	147,0 ^a	139,4 ^{ab}	125,2 ^c	147,5 ^a	136,8 ^b	8,43
PAGMS48	197,7 ^{ab}	187,9 ^{bc}	167,2 ^d	202,1 ^a	182,5 ^c	2,12
PAGMS96	236,4 ^{ab}	225,9 ^{bc}	201,6 ^d	241,2 ^a	220,0 ^c	1,65
DVIMS12	61,7 ^a	60,2 ^b	55,9 ^d	62,7 ^a	58,0 ^c	0,73
DVIMS24	66,0 ^{ab}	64,2 ^{ab}	58,7 ^c	67,3 ^a	62,0 ^{bc}	2,40
DVIMS48	75,1 ^{ab}	73,4 ^b	66,8 ^c	76,6 ^a	69,1 ^c	1,42
DVIMS96	78,2 ^b	76,6 ^b	69,3 ^d	82,3 ^a	74,2 ^c	0,98
¹ FPMS12	5,5 ^a	5,7 ^a	5,9 ^a	5,7 ^a	5,7 ^a	2,67
¹ FPMS24	4,2 ^a	4,3 ^a	4,4 ^a	4,2 ^a	4,3 ^a	2,63
¹ FPMS48	3,5 ^a	3,7 ^a	3,8 ^a	3,5 ^a	3,6 ^a	2,47
¹ FPMS96	3,1 ^a	3,2 ^a	3,2 ^a	3,2 ^a	3,2 ^a	2,13
DAMS12	57,3 ^a	56,0 ^a	50,0 ^b	58,8 ^a	52,9 ^b	1,91
DAMS24	64,2 ^a	60,8 ^{ab}	56,2 ^b	63,8 ^a	58,3 ^b	3,13
DAMS48	71,3 ^{ab}	68,9 ^{bc}	61,9 ^d	73,8 ^a	66,8 ^c	2,11
DAMS96	76,4 ^b	74,3 ^c	67,0 ^e	79,9 ^a	71,6 ^d	0,82
BIOMS12	4,37 ^a	4,20 ^a	5,93 ^a	3,93 ^a	5,13 ^a	21,44
BIOMS24	1,80 ^a	3,37 ^a	2,47 ^a	3,47 ^a	3,70 ^a	66,36
BIOMS48	3,87 ^a	4,53 ^a	4,87 ^a	2,83 ^a	2,37 ^a	37,29
BIOMS96	2,85 ^a	2,27 ^a	2,30 ^a	2,33 ^a	2,57 ^a	34,04

Médias seguidas por letras distintas na linha diferem entre si pelo teste Tukey a 5 % de probabilidade (P<0,05).

¹mg do substrato verdadeiramente degradado/volume de gases produzidos em mL

Nogueira e outros (2006), avaliando a cinética da fermentação ruminal *in vitro* de diferentes forrageiras pela técnica semi-automática de produção de gases, encontraram valores médios de produção acumulada de gases ao término do período de incubação *in vitro* para a cana-de-açúcar (não especificando a variedade avaliada) de 263 mL, um pouco superior aos descritos na Tabela 3.3.

Azevêdo e outros (2003b), avaliando a produção de gases *in vitro*, também encontraram valores de produção acumulada de gases para a variedade SP79-1011 superior quando comparada com outras variedades (SP80-1842 e RB845257).

Houve diferença significativa ($P < 0,05$) para os valores de DVIMS às 12 h (Tabela 3.3), sendo os resultados médios para as variedades SP79-1011 e Java (62,7 e 61,7%, respectivamente) superiores as variedades RB72454, SP80-1842 e RB765418 (60,2, 58,0 e 55,9%, respectivamente).

Pode-se observar que as variedades com os maiores teores de CNF, SP79-1011 e Java (57,3 e 56,2%, respectivamente) (Tabela 3.2), apresentaram diferenças significativas ($P < 0,05$) na DVIMS às 12 h em relação as demais variedades. A rápida DVIMS às 12 h, observada nas variedades de cana-de-açúcar, é decorrente da digestão da fração dos carboidratos não fibrosos (CNF), que se solubilizam rapidamente e se degradam entre 1 e 12 h após o início da fermentação (SHOFIELD e PELL, 1995).

Na DVIMS às 24 h, a variedade SP79-1011 (67,3%) diferiu significativamente ($P < 0,05$) das variedades SP80-1842 e RB765418 (62,0 e 58,7%, respectivamente). Para a DVIMS às 48 h, a variedade SP79-1011 apresentou diferença significativa ($P < 0,05$) em relação as variedades RB72454, SP80-1842 e RB765418. Não houve diferença significativa ($P < 0,05$) para os valores de DVIMS às 48 h entre as variedades SP79-1011 e Java.

Na DVIMS e na DAMS às 96 h, a variedade SP79-1011 diferiu ($P < 0,05$) das demais, apresentando os maiores valores (82,3 e 79,9%, respectivamente) e a

RB765418, apresentou os menores valores (69,3 e 67,0%, respectivamente). Os valores de DAMS inferiores aos de DVIMS encontrados no presente trabalho justificam-se em função da realização da digestão com solução de detergente neutro (GOERING e Van SOEST, 1970) nos resíduos após a digestão microbiana *in vitro*.

De uma forma geral, foi observada a mesma tendência para a produção acumulada de gases (PAGMS; Tabela 3.3), destacando-se as variedades SP79-1011 e Java, indicando uma correlação positiva entre os dois parâmetros. As correlações (r) entre a PAGMS e DVIMS nas variedades de cana foram de 0,99; 0,99; 0,98; 0,99 e 0,99 (Java, RB72454, RB765418, SP79-1011 e SP80-1842, respectivamente).

Nogueira e outros (2006) encontraram valores de DAMS para a cana-de-açúcar às 12, 24, 48 e 96 h de incubação, de 41,0, 60,0, 72,0 e 77,0%, respectivamente. Esses valores foram semelhantes aos encontrados neste trabalho (Tabela 3.3).

Os valores do fator de partição da MS (FPMS), que relacionam a quantidade de substrato verdadeiramente degradado (mg) e a produção de gases (mL), diminuíram com o tempo de incubação e não houve diferença significativa ($P>0,05$) entre as variedades avaliadas. No final das 96 h de incubação ruminal *in vitro* os resultados variaram de 3,1 a 3,2 entre as cinco variedades de cana estudadas.

Blümmel e outros (1999) encontraram valores de FPMS em folhas de duas variedades de milho com 24 h de incubação *in vitro* de 3,1 e 3,3 mg.mL⁻¹. Segundo esses autores, os valores de FP *in vitro* podem ser associadas a síntese de proteína microbiana *in vivo* (valores altos de FP *in vitro*, ocasionam alta excreção urinária dos derivados de purina) e a produção de dióxido de carbono e metano no rúmen (valores elevados de FP *in vitro*, ocasionam baixa produção de dióxido de carbono e metano no rúmen).

Não houve diferença significativa ($P>0,05$) para os valores de BIOMS às 96 h de incubação *in vitro*, que variaram de 2,27 a 2,85 mg.100mg⁻¹ de substrato verdadeiramente degradado.

Os substratos que apresentam alta degradabilidade verdadeira *in vitro* mas que, proporcionalmente ao substrato degradado, mostram baixa produção de gases, apresentam fator de partição mais elevado, maior consumo de MS, mais alta produção de biomassa microbiana e eficiência de síntese de proteína microbiana. Em contra partida, reduzem-se proporcionalmente as produções de CO₂, CH₄ e AGV (BLÜMMEL e outros, 1999).

Segundo Getachew e outros (1998) a produção de biomassa microbiana por unidade (mol) de ATP pode variar desde 10 até 32mg. Segundo Owens e Goetsch (1988) para cada 100 g de matéria orgânica verdadeiramente fermentada são produzidos 7,6 a 20,3 g de proteína microbiana no rúmen *in vivo*.

A relação entre produção de AGV e a produção de biomassa microbiana não é uma constante e a explicação deste reside na variação da produção de biomassa microbiana por unidade de ATP produzido (MAKKAR, 2007).

Na Tabela 3.4 estão descritos os valores de produção acumulada de gases (PAGFDN), degradabilidade verdadeira *in vitro* (DVIFDN), fator de partição (FPFDN), degradabilidade aparente (DAFDN) e biomassa microbiana (BIOFDN) da fibra em detergente neutro (FDN), nos diferentes tempos de incubação (12, 24, 48 e 96 h) de cinco variedades de cana-de-açúcar.

Nos resultados de PAGFDN às 12, 24, 48 e 96 h de incubação, a variedade RB72454, apresentou a maior produção de gases, diferindo significativamente ($P<0,05$) em relação as variedades SP79-1011 e RB765418 às 96 h de incubação.

Para os valores médios de DAFDN às 96 h de incubação *in vitro* a variedade SP79-1011 foi significativamente maior do que as demais à exceção da Java ($P<0,05$) (18,1%). Para a BIOFDN às 96 h de incubação os valores

variaram entre 2,93 e 4,13 mg.100mg⁻¹ de substrato verdadeiramente degradado, que não diferiram estatisticamente entre si (P>0,05).

A elevada variabilidade dos resultados encontrados para DVIFDN, DAFDN, FPFDN e BIOFDN, refletida nos altos coeficientes de variação (CV), dificultou a detecção de diferenças significativas entre as variedades (P>0,05; Tabela 3.4). Esta alta variação ocorreu provavelmente devido as dificuldades nas mensurações gravimétricas dos resíduos antes e após o tratamento com detergente neutro.

Talvez por isso, os valores de PAGFND da variedade RB72454 não se relacionaram perfeitamente com os da DVIFDN, desvirtuando conseqüentemente os seus resultados de FPFDN (Tabela 3.4). Apesar disso, não houve diferença significativa (P>0,05) entre as variedades avaliadas para DVIFDN e FPFDN às 96 h de incubação.

Os valores mais elevados para o FP indicam uma degradação maior do substrato em detrimento da menor produção acumulada de gases no período. Isto ocorre quando existe uma grande multiplicação microbiana, que se relaciona com a eficiência do crescimento microbiano *in vitro*, que se reflete no aumento da excreção de derivados de purina *in vivo* na urina, constituindo em um indicativo da maior produção de proteína microbiana no rúmen *in vivo*. De forma contrária, um FP menor, indica uma maior produção acumulada de gases, que se reflete em uma menor eficiência do processo fermentativo, com um aumento de produção de dióxido de carbono e metano.

A relação molar entre os ácidos graxos acético e propiônico, produzida pela fermentação dos diferentes substratos, pode alterar o volume total de gases produzidos. A produção de propionato consome H₂ do meio, diminuindo a PAG dentro dos frascos e a produção de acetato, que libera H₂ no meio tende a produzir mais CO₂ e CH₄, aumentando a PAG e a pressão interna dos gases no interior dos frascos (BLÜMMEL e outros, 1997). Conseqüentemente, a avaliação

Tabela 3.4 – Valores médios de produção acumulada de gases (PAGFDN; mL), degradabilidade verdadeira *in vitro* (DVIFDN; %), fator de partição (FPFDN; mg.mL⁻¹), degradabilidade aparente *in vitro* (DAFDN; %) e biomassa microbiana (BIOFDN; mg.100mg⁻¹ da MS digestível) da fibra em detergente neutro (FDN) de cinco variedades de cana-de-açúcar às 12, 24, 48 e 96 h de incubação.

Itens	Variedades					CV (%)
	Java	RB72454	RB765418	SP79-1011	SP80-1842	
PAGFDN12	6,9 ^c	38,8 ^a	6,4 ^c	8,4 ^c	16,2 ^b	8,85
PAGFDN24	13,7 ^c	50,2 ^a	11,4 ^c	12,8 ^c	26,9 ^b	8,02
PAGFDN48	34,1 ^{bc}	72,4 ^a	22,2 ^c	25,0 ^c	47,4 ^b	13,15
PAGFDN96	59,7 ^{ab}	94,4 ^a	38,3 ^b	47,3 ^b	65,4 ^{ab}	20,75
DVIFDN12	2,1 ^a	1,5 ^a	2,3 ^a	1,8 ^a	2,5 ^a	28,92
DVIFDN24	5,3 ^a	3,7 ^a	4,5 ^a	2,2 ^a	3,6 ^a	35,23
DVIFDN48	12,2 ^a	8,9 ^a	7,6 ^a	9,3 ^a	9,3 ^a	27,25
DVIFDN96	17,1 ^a	13,3 ^a	11,9 ^a	15,1 ^a	14,1 ^a	30,35
¹ FPFDN12	3,0 ^a	0,3 ^a	4,4 ^a	1,8 ^a	1,2 ^a	86,41
¹ FPFDN24	3,9 ^a	0,6 ^a	5,1 ^a	1,7 ^a	1,1 ^a	78,42
¹ FPFDN48	3,3 ^a	1,1 ^a	3,3 ^a	3,0 ^a	1,8 ^a	31,81
¹ FPFDN96	2,6 ^a	1,3 ^a	2,9 ^a	2,4 ^a	2,0 ^a	22,90
DAFDN12	0,3 ^a	0,4 ^a	0,1 ^a	0,6 ^a	0,3 ^a	88,45
DAFDN24	2,4 ^a	2,2 ^a	3,6 ^a	2,0 ^a	2,6 ^a	91,98
DAFDN48	8,7 ^a	5,2 ^a	4,1 ^a	5,8 ^a	5,1 ^a	30,05
DAFDN96	14,2 ^{ab}	9,8 ^{bc}	8,9 ^c	18,1 ^a	10,9 ^{bc}	13,30
BIOFDN12	1,77 ^a	1,13 ^a	2,20 ^a	1,17 ^a	2,17 ^a	44,45
BIOFDN24	2,87 ^a	1,63 ^a	1,80 ^a	0,77 ^a	2,40 ^a	82,86
BIOFDN48	3,53 ^a	3,73 ^a	3,57 ^a	5,90 ^a	4,17 ^a	45,08
BIOFDN96	2,93 ^a	3,60 ^a	3,43 ^a	Nd	4,13 ^a	30,98

Médias seguidas por letras distintas na linha diferem entre si pelo teste Tukey a 5 % de probabilidade (P<0,05).

¹mg do substrato verdadeiramente degradado/volume de gases produzidos em mL.

nd: não determinado

dos resultados baseada unicamente na maior ou menor produção de gases, pode induzir a interpretações errôneas em relação aos resultados observados durante a fermentação dos substratos obtidos pela técnica *in vitro* semi-automática de produção de gases (MAURÍCIO e outros, 1999).

Especificamente para os resultados da Tabela 3.4, por exemplo, isso demonstra a importância da verificação da DVIFDN em conjunto com a PAGFDN, para que substratos que apresentem valores elevados de PAGFDN e baixa DVIFDN não sejam selecionados erroneamente.

Apesar das variedades não apresentarem diferenças significativas ($P>0,05$) em relação à DVIFDN às 96 h, a variedade Java apresentou o maior valor (17,1%), seguida das variedades SP79-1011, SP80-1842, RB72454 e RB765418 (15,1, 14,1, 13,3 e 11,9%, respectivamente).

A representação gráfica da produção acumulada de gases da matéria seca (MS), dos carboidratos não fibrosos (CNF) e carboidratos fibrosos (CF) das variedades Java, RB72454, RB765418, SP79-1011 e SP80-1842, podem ser visualizados nos Apêndices 1A, 2A, 3A, 4A e 5A, respectivamente.

A visualização gráfica da dinâmica da fermentação *in vitro* dos CNF das cinco variedades de cana-de-açúcar, foi obtida pela subtração da PAG na fermentação *in vitro* da MS pela PAG na fermentação *in vitro* da FDN (SCHOFIELD e PELL, 1995). Por meio da análise desses gráficos é possível observar claramente as diferenças existentes nas variedades de cana-de-açúcar em relação às cinéticas das fermentações dos CNF e CF.

Malafaia e outros (1997), avaliando a cinética da degradação *in vitro* da MS e da FDN em diferentes volumosos (capins tifton-85, gordura, elefante e braquiárias), encontraram perfil fermentativo diferente aos observados neste estudo. A contribuição da fração dos CF na produção acumulada de gases foi maior do que as dos CNF nestas gramíneas tropicais. Isto se explica, em virtude do baixo conteúdo de CNF nessas espécies (5,5, 7,4, 9,8 e 11,3%,

respectivamente), que contrasta com os elevados percentuais de CNF nas variedades de cana (acima de 50%; Tabela 3.2). Por isso, é natural que a contribuição dos CNF da cana para a produção acumulada de gases seja proporcionalmente maior quando comparada com outras gramíneas tropicais.

Os resultados apresentados neste trabalho estão de acordo aos observados por Schofield e Pell (1995), que avaliaram (48 horas de incubação *in vitro*) as curvas de produção total de gases pela metodologia de subtração das curvas no capim colômbio (*Panicum maximum*).

Nogueira e outros (2006), avaliando a fermentação *in vitro* da MS e do material lavado em água da cana-de-açúcar pela técnica semi-automática de produção de gases, 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.

Azevêdo e outros (2003b), avaliando variedades de cana-de-açúcar, encontraram diferentes contribuições na fração de CNF (média de 34,7% de contribuição na produção total de gases), diferentemente do encontrado neste trabalho (média de 72,9% de contribuição na produção total de gases). Isso provavelmente ocorreu, pelo fato de os autores terem avaliado a fermentação *in vitro* dos colmos e folhas da cana, diminuindo conseqüentemente a participação dos CNF nas amostras incubadas. Outra explicação adicional que poderia ser levantada diz respeito à metodologia da técnica *in vitro* de produção de gases utilizada por esses autores. Nela, diferentemente do tempo de incubação *in vitro* de 96 horas, estes autores incubaram o material por 144 h, permitindo assim uma maior possibilidade da fermentação das frações da parede celular da cana.

Na Tabela 3.5 estão descritos o volume máximo de produção de gases dos CNF e CF (Vf1 e Vf2, respectivamente), as taxas de digestão dos CNF e CF (C1 e C2, respectivamente) e o tempo de colonização (L) para as cinco variedades de cana-de-açúcar.

Tabela 3.5 – Estimativas dos parâmetros cinéticos da produção de gases *in vitro* da matéria seca (MS) de cinco variedades de cana-de-açúcar.

Itens	Variedades					CV (%)
	Java	RB72454	RB765418	SP79-1011	SP80-1842	
Vf1 (mL.g ⁻¹)	86,9 ^a	79,9 ^a	77,4 ^a	85,0 ^a	80,6 ^a	11,13
C1 (h ⁻¹)	0,214 ^a	0,218 ^a	0,182 ^a	0,220 ^a	0,195 ^a	13,97
L (h)	5,68 ^a	5,51 ^a	5,69 ^a	6,11 ^a	5,42 ^a	16,34
Vf2 (mL.g ⁻¹)	140,7 ^a	136,6 ^a	117,0 ^a	147,1 ^a	130,9 ^a	12,14
C2 (h ⁻¹)	0,022 ^a	0,022 ^a	0,021 ^a	0,023 ^a	0,022 ^a	5,91

Médias seguidas por letras distintas na linha diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade (P<0,05).

Vf1 – volume máximo de produção de gases da fração dos CNF; C1 – taxa de digestão para a fração dos CNF; L - tempo de colonização; Vf2 - volume máximo de produção de gases da fração dos CF; C2 – taxa de digestão para a fração dos CF

Não houve diferença significativa (P>0,05) entre as variedades de cana avaliadas em relação aos parâmetros cinéticos de produção de gases *in vitro*. As estimativas do Vf1 e Vf2 variaram entre 86,9 a 77,4 mL.g⁻¹ e 147,1 a 117,0 mL.g⁻¹, respectivamente.

As estimativas da C1 e C2 variaram entre 0,182 a 0,220 .h⁻¹ e 0,021 a 0,023 .h⁻¹. Os valores do L variaram entre 5,42 a 6,11 h (SP80-1842 e SP79-1011, respectivamente).

Fernandes e outros (2003), avaliando as taxas de digestão dos carboidratos de variedades de cana-de-açúcar com diferentes ciclos de produção (precoce e intermediário), obtiveram valores para Vf1, Vf2, C1 e C2 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 valores de C1 e C2 foram semelhantes ao deste estudo (0,182 a 0,220 .h⁻¹ e 0,021 a 0,023 .h⁻¹), porém, os valores de Vf1 e Vf2 foram ligeiramente acima dos valores apresentados neste trabalho. Para possibilitar a

comparação dos parâmetros da cinética de fermentação *in vitro*, os resultados (Vf1 e Vf2) de Fernandes e outros (2003) foram extrapolados para 1 g de amostra, uma vez que os mesmos utilizaram 100 mg de amostra para incubação.

Campos e outros (2001), avaliando a produção de gases *in vitro* de diferentes alimentos para ruminantes, encontraram estimativas dos parâmetros cinéticos de produção de gases para a variedade de cana-de-açúcar RB72454 de 98,0 mL.g⁻¹, 75,0 mL.g⁻¹, 0,20 .h⁻¹, 0,031 .h⁻¹ e 1,3 h para Vf1, Vf2, C1, C2 e L, respectivamente.

As diferenças existentes nas técnicas de produção de gases *in vitro* podem ter influenciado a quantificação dos parâmetros cinéticos analisados. Por exemplo, Fernandes e outros (2003), assim como Campos e outros (2001), utilizaram frascos de 50 mL, 100 mg de amostras e solução tampão de McDougal (1949), que diferem do procedimentos de incubação realizados neste trabalho. Talvez por isso, o tempo de latência tenha sido substancialmente menor (1,3 h), nos resultados publicados por esses últimos autores, quando confrontados com os aqui encontrados (5,51 a 6,11 h; Tabela 3.5).

Azevêdo e outros (2003b) encontraram valores de L variando entre 3,4 a 3,5 h, também inferiores aos observados neste trabalho (Tabela 3.5). Malafaia (1997) encontrou valores de L para os capim elefante, capim gordura, *Braquiária brizanta* e *Braquiária decumbens* de 8,5, 12,2, 10,4, 8,1 h, respectivamente, sendo neste caso específico, superiores aos encontrados neste estudo (Tabela 3.5).

Campos e outros (2000) trabalhando com feno de alfafa e silagem de milho encontraram 129,0 mL.g⁻¹, 76,0 mL.g⁻¹, 0,120 .h⁻¹, 0,037 .h⁻¹ e 2,2 h e 74,0 mL.g⁻¹, 157,0 mL.g⁻¹, 0,12 .h⁻¹, 0,042 .h⁻¹ e 5,6 h para Vf1, Vf2, C1, C2 e L, respectivamente.

Cabral e outros (2002) avaliando silagens de milho com diferentes proporções de grãos (0 a 60%) observaram que a medida que aumentou a

participação dos grãos na silagens, a C1 elevou-se de 0,0803 a 0,2315 .h⁻¹. Estes resultados estão de acordo com os aqui obtidos para as diferentes variedades de cana, que apresentaram maiores C1 para aquelas com teores mais elevados de CNF (Tabelas 3.2 e 3.5).

Na Figura 3.1, está demonstrada graficamente de forma conjunta a PAGMS nos diferentes tempos de incubação para as cinco variedades de cana-de-açúcar. A variedade SP79-1011 e Java apresentaram as maiores PAGMS, seguidas das variedades RB72454, SP80-1842 e RB765418 (Tabela 3.3).

As características do ciclo de produção influenciaram na fermentação ruminal *in vitro* da MS nas variedades avaliadas, onde as de ciclo precoce SP80-1842 e RB765418 apresentaram os piores resultados (Tabela 3.3).

Ao se analisar os resultados das determinações químicas nas variedades de cana (Tabela 3.2), observam-se que estas duas variedades de ciclo precoce (SP80-1842 e RB765418) apresentaram os menores teores de CNF (50,7 e 50,6%, respectivamente). Como os seus conteúdos de CF são maiores do que os determinados nas outras variedades (SP79-1011, Java e RB72454), e a maior produção de gases na cana é proveniente da fermentação dos CNF, esta seria a explicação para as diferenças observadas nestes parâmetros entre as variedades testadas.

Azevêdo e outros (2003b) também observaram que as variedades de ciclo precoce foram inferiores, onde as variedades de ciclo de produção médio-tardia (SP79-1011 e RB845257) apresentaram PAGMS superior em relação as de ciclo de produção precoce (SP80-1842).

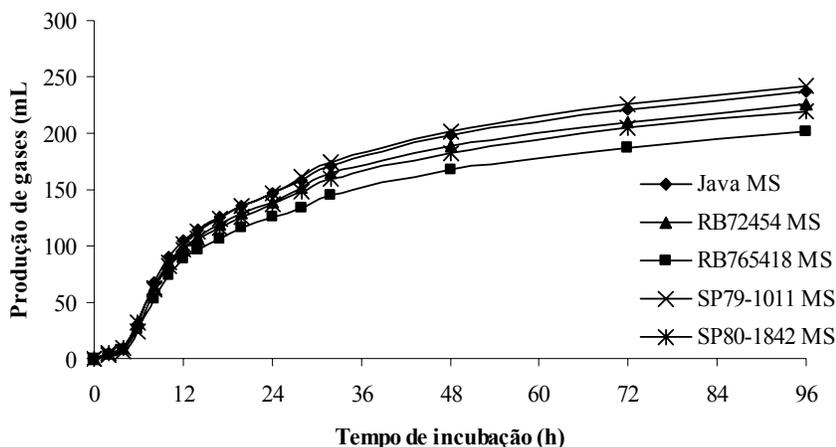


Figura 3.1 – Produção acumulada de gases da matéria seca (MS) de cinco variedades de cana-de-açúcar.

Na Figura 3.2, estão apresentados graficamente a produção acumulada de gases dos carboidratos não fibrosos (PAGCNF), nos diferentes tempos de incubação *in vitro*. Os CNF das variedades de cana-de-açúcar avaliadas resultaram em maior contribuição para o total de gases produzidos pela MS. A variedade SP79-1011 apresentou o melhor perfil de fermentação *in vitro* dos CNF, obtendo 193,9 mL de gases às 96 h, sendo 32,1% superior em relação a variedade RB72454 (131,6 mL).

Os CNF realizam um papel importante nas etapas iniciais da digestão das forrageiras, sendo menos significativo nas etapas posteriores. As informações da digestão ruminal dos CNF podem contribuir na compreensão do significado nutritivo desta fração (SCHOFIELD e PELL, 1995).

A maior contribuição dos CNF na produção de gases na MS apresentada neste trabalho está de acordo com diversos trabalhos publicados na literatura (SCHOFIELD e PELL, 1995; MALAFAIA, 1997; AZEVÊDO e outros 2003b; CAMPOS e outros, 2004; NOGUEIRA e outros 2006)

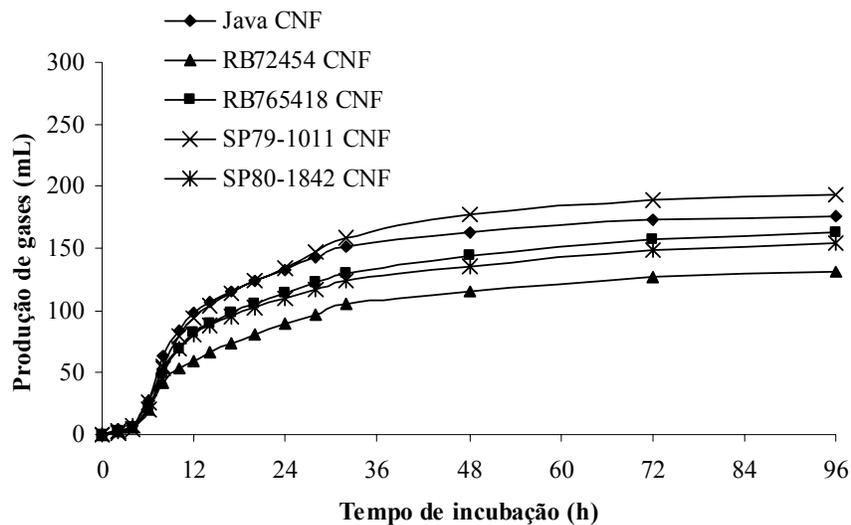


Figura 3.2 – Produção acumulada de gases dos carboidratos não fibrosos (CNF) de cinco variedades de cana-de-açúcar.

A Figura 3.3 apresenta graficamente a PAGFDN nos diferentes tempos de incubação ruminal *in vitro*. As incubações das frações da FDN resultaram em curvas de produção de gases bastante distintas. Os maiores valores de PAGFDN nas variedades RB72454 e SP80-1842 não refletiram nas suas DVIMS (Tabela 3.4).

A parede celular possui considerável influência no consumo voluntário de forrageira pelo ruminante (Van SOEST, 1994). A produção de gases oriundas da FDN possui melhor correlação com o consumo voluntário das forrageiras, do que os valores obtidos com a incubação da MS (GETACHEW e outros, 1998), porque evidenciam uma fermentação desta fração que se constitui em um fator regulador do consumo de alimentos em ruminantes (MERTENS, 1994).

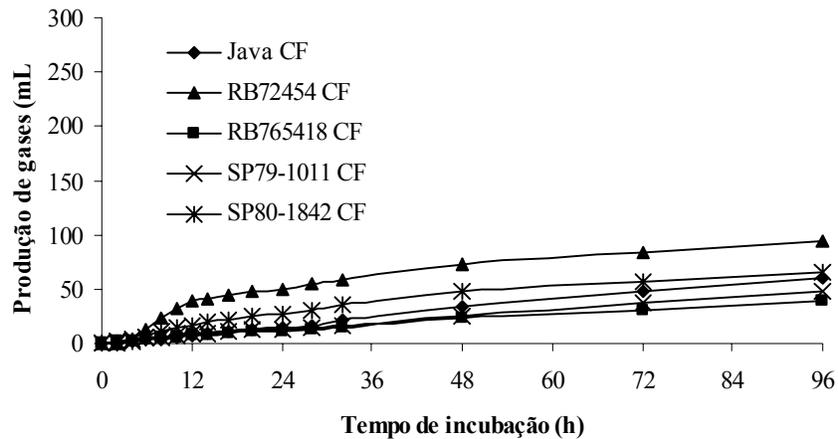


Figura 3.3 – Produção acumulada de gases dos carboidratos fibrosos (CF) de cinco variedades de cana-de-açúcar.

Assumindo que a fração FDN é constituída de polímeros heterogêneos, a utilização desta fração também pode ser aproveitada diferentemente pelos microrganismos ruminais, podendo existir diferenças marcantes dentro de uma mesma espécie (Van SOEST, 1994).

A variedade RB72454 apresentou uma maior PAGFDN, mas com menores valores de FPFDN em relação as demais (Tabela 3.4). Esses valores de FPFDN menores implicam em uma menor degradabilidade *in vitro* da FDN. Vale ressaltar a importância da observação da DVIFDN, onde elevadas produções de gases podem não se refletir na degradação da fibra (menor FPFDN).

5. CONCLUSÕES

Dentre as variedades testadas, destacaram-se a utilização das variedades SP79-1011 e Java em razão de apresentarem melhores resultados de cinética de produção de gases, uma melhor composição química e uma maior degradabilidade ruminal *in vitro*.

6. REFERÊNCIAS

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS – A.O.A.C. **Official methods of analysis**. 15.ed., Arlington, Virginia, v.1, 1990, 1117p.

AZEVÊDO, J. C.G.; PEREIRA, J.C.; CARNEIRO, P. C.S.; QUEIROZ, A. C.; BARBOSA, M. H. P.; FERNANDES, A. M.; RENNÓ, F. P. Avaliação da divergência nutricional de variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.32, n.6, p.1431-1442, 2003a.

AZEVÊDO, J. C.G.; PEREIRA, J.C.; QUEIROZ, A. C.; CARNEIRO, P. C.S.; LANA, P. L.; BARBOSA, M. H. P.; FERNANDES, A. M.; RENNÓ, F. P. Composição químico-bromatológica, fracionamento de carboidratos e cinética da degradação *in vitro* da fibra de três variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.32, n.6, p.1443-1453, 2003b.

BARBOSA, E. A. **Avaliação fitotécnica de cinco variedades de cana-de-açúcar para o município de Salinas – MG**. Vitória da Conquista: UESB, 2005 70p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, 2005.

BLÜMMEL, M.; MGOMEZULU, R.; CHEN, X. B.; MAKKAR, H. P.; BECKER, K.; ØRSKOV, E. R. 1999 The modification of an *in vitro* gas production test to detect roughage related differences in *in vivo* microbial protein synthesis as estimated by the excretion of purine derivatives. **Journal of Agricultural Science**, v.133, p.335-340, 1999.

BLÜMMEL, M.; STEINGAB, H.; BECKER, K. The relationship between *in vitro* gas production, *in vitro* microbial biomass yield and ¹⁵N incorporation and its implications for the prediction of voluntary feed intake of roughages. **British Journal of Nutrition**, v.77, p.911-921, 1997.

CABRAL, L. S.; FILHO, S. C. V.; DETMANN, E.; ZERVOUDAKIS, T.; PEREIRA, O. G. P.; VELOSO, R. G.; PEREIRA, E. S. Cinética ruminal das frações de carboidratos, produção de gás, digestibilidade *in vitro* da matéria seca e NDT estimado da silagem de milho com diferentes proporções de grãos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, n.6, p.2339-2339, 2002.

CAMPOS, F. P.; SAMPAIO, A. A. M.; BOSE, M. L. V.; VIEIRA, P. F.; SARMENTO, P. Evaluation of *in vitro* gas production of roughages and their

mixtures using the curves subtraction method. **Animal Feed Science And Technology**, v.116, p.161-172, 2004.

CAMPOS, F. P.; BOSE, M.L.V.; BOIN, C.; LANNA, D. P. D.; MORAIS, J. P. G. Avaliação do sistema de monitoramento computadorizado de digestão *in vitro*. 3. Desaparecimento da matéria seca e/ou FDN pela produção de gás. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.2, p.537-544, 2000.

CAMPOS, F.P.; SAMPAIO, A.A.M.; VIEIRA, P.F.; BOSE, M. L. V. Digestibilidade *in vitro*/ gás de volumoso exclusivos ou combinados avaliados pelo resíduo remanescente da digestão da matéria seca e produção de gás. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.30, n.5, p.1579-1589, 2001.

FERNANDES, A. M.; QUEIROZ, A. C.; LANA, R. P.; PEREIRA, J. C.; CABRAL, L. S.; VITTORI, A.; PEREIRA, E. S. Estimativas da produção de leite por vacas holandesas mestiças, segundo o sistema CNCPS, em dietas contendo cana-de-açúcar com diferentes valores nutritivos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.4, p.1350-1357, 2001.

FERNANDES, A. M.; QUEIROZ, A. C.; PEREIRA, J. C.; LANA, R. P.; BARBOSA, M. H. P.; FONSECA, D. M.; DETMANN, E.; CABRAL, L. S.; PEREIRA, E. S.; VITTORI, A. 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**, v.32, n.6, p.1778-1785, 2003. (Supl. 1)

FIGUEIREDO, M. P.; MAURICIO, R. M.; PEREIRA, L. G. R.; REBOUÇAS, G. M.N.; MOREIRA, G. R.; SOUSA, L. F. Determinação entre pressão e volume através da fermentação da raiz de mandioca tratada com uréia, feno de tifton 85 e silagem de milho para a instalação da técnica *in vitro* de produção de gás. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 40., 2003, Santa Maria. **Anais...Rio Grande do Sul**, 2003 (CD-ROM).

FOX, D.G.; TYLUTKI, T.P.; TEDESCHI, L.O.; VAN AMBURGH, M.E.; CHASE, L.E.; PELL, A.N.; OVERTON, T.R.; RUSSEL, J.B. **Sistema de carboidratos e proteínas 'líquidos' para a avaliação da nutrição de rebanhos e excreção de nutrientes** (CNCPS Versão 5.0): documentação do modelo CNCPS. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2003. 202p. Tradução Fernando César Ferraz Lopes, Heloísa Carneiro, Jaílton da Costa Carneiro, Limirio de Almeida Carvalho, Oriel Fajardo de Campos, Pedro Braga Arcuri.

GALYEAN, M. L. **Laboratory procedures in animal nutrition research**. 12.ed. West Texas A and M University, Division of Agriculture and Texas A and M Research and Extension Center, Amarillo, 1997, 177p.

GETACHEW, G.; BLÜMMEL, M.; MAKKAR, H. P.; BECKER, K. *In vitro* measuring techniques for assessment of nutritional quality of feeds: a review. **Animal Feed Science and Technology**, v.72, p.261-281, 1998.

GOERING, H.K.; VAN SOEST, P.J. Forage fiber analysis (Apparatus, reagents, procedures, and some applications). **Agricultural Handbook** No. 379. ARS USDA, Washington DC. 1970.

GOMIDE, C. A. M.; GOMIDE, J. A.; HUAMAN, C. A. M.; PACIULLO, D. S. C. Fotossíntese, reservas orgânicas e rebrota do capim-mombaça (*Panicum maximum* Jacq.) sob diferentes intensidades de desfolha do perfilho principal. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, n.6, p.2165-2175, 2002.

GROOT, J.C.J.; CONE, J.W.; WILLIAMS, B.A.; DEBERSAQUES, F.M.A.; LANTINGA, E.A. Multiphasic analysis of gas production kinetics for in vitro fermentation of ruminant feeds. **Animal Feed Science and Technology**, v.64, p.77-89, 1996.

IBGE. **Levantamento sistemático da produção agrícola**.

Disponível em:

<<<http://www.ibge.gov.br/ibge/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/default.sht>>>

Acessado em: 04/04/2007

ISHLER, V.; VARGA, G. **Carbohydrate nutrition for lactating dairy cattle**.

<<<http://www.das.psu.edu/dairynutrition/documents/chonutrition.pdf>>>

Acessado em: 10/06/2007

LANDELL, M.G.A.; CAMPANA, M.P.; RODRIGUES, A.A.; CRUZ, G.M.; ROSSETO, R.; FIGUEIREDO, P. A variedade IAC86-2480 como nova opção de cana-de-açúcar para fins forrageiros: manejo de produção de uso na alimentação animal. Campinas: Instituto Agrônomo, **Boletim Técnico IAC**, 2002. 193 p.

LICITRA, G.; HERNANDEZ, T.M.; Van SOEST, P.J. Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. **Animal Feed Science and Technology**, v.57, n.4, p.347-358, 1996.

LÓPEZ, S.; CARRO, M. D.; GONZÁLEZ, J. S.; OVEJERO, F. J. Comparison of different *in vitro* and *in situ* methods to estimate the extent and rate of degradation of hays in the rumen. **Animal Feed Science and Technology**, v. 73, p.99-113, 1998.

MALAFAIA, P. A. M. **Taxas de digestão das frações protéicas e de carboidratos de alimentos por técnicas “in situ”, “in vitro” e de produção de gases**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1997. 85p. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 1997.

MAKKAR, H. **Applications of the *in vitro* gas method in the evaluation of feed resources, and enhancement of nutritional value of tannin-rich tree/browse leaves and agro-industrial by products**. Disponível em:

<<<http://www.iaea.org/programmes/nafa/d3/public/review-3.pdf>>>

Acessado em: 20/06/2007

MAURICIO, R.M.; MOULD, F.L.; DHANOA, M.S. A semi-automated *in vitro* gas production technique for ruminant feedstuff evaluation. **Animal Feed Science and Technology**, v.79, p.321-330, 1999.

McDOWELL, L.R.; CONRAD, J.H.; THOMAS, J.E.; HARRIS, L.E. **Latin American tables of feed composition**. Gainesville, University of Florida, 1974. 509p.

MATSUOKA, S.; HOFFMANN, H. P. Variedades de cana-de-açúcar para bovinos. In: SIMPÓSIO SOBRE NUTRIÇÃO DE BOVINOS, 5, 1993, Piracicaba. **Anais...**Piracicaba: FEALQ, p.17-35, 1993.

MELLO, S. Q. S.; FRANÇA, A.F. S.; LIMA, M. L. M.; RIBEIRO, D. S.; MIYAGI, E. S.; REIS, J.G. Parâmetros do valor nutritivo de nove variedades de cana-de-açúcar cultivadas sob irrigação. **Ciência Animal Brasileira**, v.7, n.4, p.373-380, 2006.

MERTENS, D.R. Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.8, p.1463-1469, 1997.

MERTENS, D.R. Regulation of forage intake. In: FAHEY, G. C. JR.; COLLINS, M.; MERTENS, D. R.; MOSER, L. E. (Ed.). **Forage quality, evaluation and utilization**. American Society of Agronomy, 1994, cap. 11, p.450-493.

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

MOORE, J.E, UNDERSANDER DJ. **Relative forage quality: an alternative to relative feed value and quality index**. In: Proceedings of the 13th Annual Florida Ruminant Nutrition Symposium, University of Florida, Gainesville, p.16-32, 2002.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. **Nutrients requirements of dairy cattle**. 7.ed. Washington, D.C.National Academy Press, 2001. 381p.

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

NOGUERA, R. R.; SALIBA, E. O.; MAURICIO, R. M. Comparación de modelos matemáticos para estimar los parámetros de degradación obtenidos a través de la técnica de producción de gas. **Livestock Research for Rural Development**, v.16, n.11 2004.

<<<http://www.cipav.org.co/lrrd16/11/nogu16086.htm>>>

OWENS, F. N.; GOETSCH, A. L. Ruminal fermentation. In: CHURCH, D. C. **The ruminant animal – digestive physiology and nutrition**. Reston Book, New Jersey, 1988, cap. 8, 564p.

PEREIRA, E. S.; QUEIROZ, A. C.; PAULINO, M. F.; CECON, P. R.; FILHO, S. C. V.; MIRANDA, L. F.; FERNANDES, A. M.; CABRAL, L. S. 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**, v.6, p.1887-1893, 2000.

PELL, A. N.; SCHOFIELD, P. Computerized monitoring of gas production to measure forage digestion *in vitro*. **Journal of Dairy Science**, v.76, p.1063-1073, 1993.

PINTO, A. P.; PEREIRA, E. S.; MIZUBUTI, I. Y. Características nutricionais e formas de utilização da cana-de-açúcar na alimentação de ruminantes. **Semina: Ciências Agrárias**, v.24, n.1, p.73-84, 2003.

POSADA, S. L.; NOGUERA, R. R. Técnica *in vitro* de producción de gases: Una herramienta para la evaluación de alimentos para rumiantes. **Livestock Research for Rural Development**, v.4, p.1-17, 2005.

RODRIGUES, A. A.; CRUZ, G. M.; BATISTA, L. A. R.; LANDELL, M. G. A. Qualidade de dezoito variedades de cana-de-açúcar como alimento para bovinos. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA , 38., 2001. Piracicaba. **Anais...**Piracicaba , p.1111-1113, 2001.

RUSSEL, J.B.; O'CONNOR, J.D.; FOX, D.G. et al. A Net Carbohydrate and Protein System for evaluating cattle diets. I. Ruminant fermentation. **Journal of Animal Science**, v.70, n.11, p.3351-3561, 1992.

SAS, **Statistical Analysis System**. Software, version 6.0. Cary: SAS Institute, 1996.

SCHOFIELD, P.; PITT, R. E.; PELL, A. N. Kinetics of fiber digestion from in vitro gas production. **Journal of Animal Science**, v.72, n.11, p.2980-2991, 1994.

SCHOFIELD, P.; PELL, A. N. Measurement and Kinetic Analysis of the Neutral Detergent-soluble Carbohydrate Fraction of Legumes and Grasse. **Journal of Animal Science**, v.73, p.3455-3463, 1995.

SCHOFIELD, P. Gas production methods. In: MELLO, J. P. F. (Ed.) **Farm Animal Metabolism and Nutrition**. Cab Publishing, 2000, cap.10, p.209-232.

SILVA, D. J.; QUEIROZ, A. C. Análise de Alimentos: métodos químicos e biológicos. 3 ed. Viçosa: UFV, 2004. 235p.

SNIFFEN, C. J.; O'CONNOR, J. D.; Van SOEST, P.J. et al. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability. **Journal of Animal Science**, v.70, p.3562-3577, 1992.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3 ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719p.

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

TEDESCHI, O. L.; FOX, D. G.; PELL, A. N.; LANNA, D. P. D.; BOIN, C. Developmente and evaluation of a tropical feed library for the cornell net

carbohydrate and protein system model. **Scientia Agricola**, v.59, n.1, p.1-18, 2002.

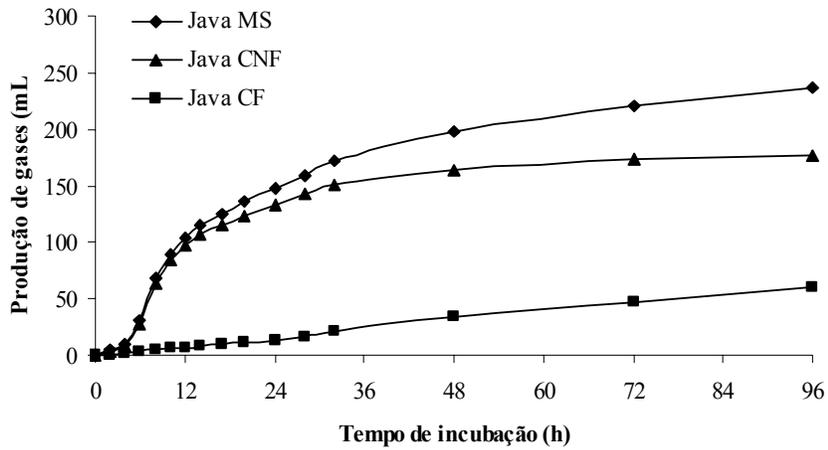
THEODOROU, M. K.; WILLIAMS, B. A.; DHANOA, M. S.; MCALLAN, A. B. A simple gas production method using a pressure transducer to determine fermentation kinetics of ruminant feeds. **Animal Feed Science Technology**, v.48, p.185-197, 1994.

VALADARES FILHO, S.C; MAGALHÃES, K. A.; ROCHA JÚNIOR, V.R.; CAPPELLE, E.R. **Tabelas brasileiras de composição de alimentos para bovinos**. Viçosa: UFV, 2006. 329p.

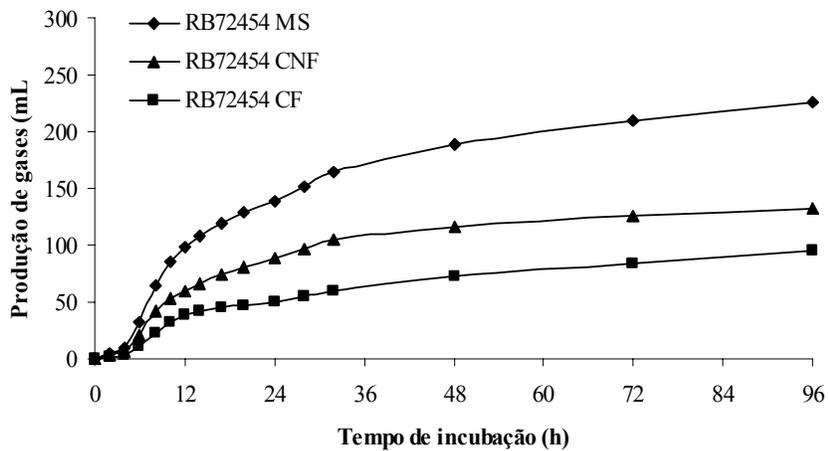
Van SOEST, P. J. **Nutritional ecology of the ruminant**. 2 ed. Ithaca: Cornell University Press, 1994. 476p.

WEISS, W.P. Predicting energy values of feeds. **Journal of Dairy Science**, v.76, p.1802 - 1811, 1993.

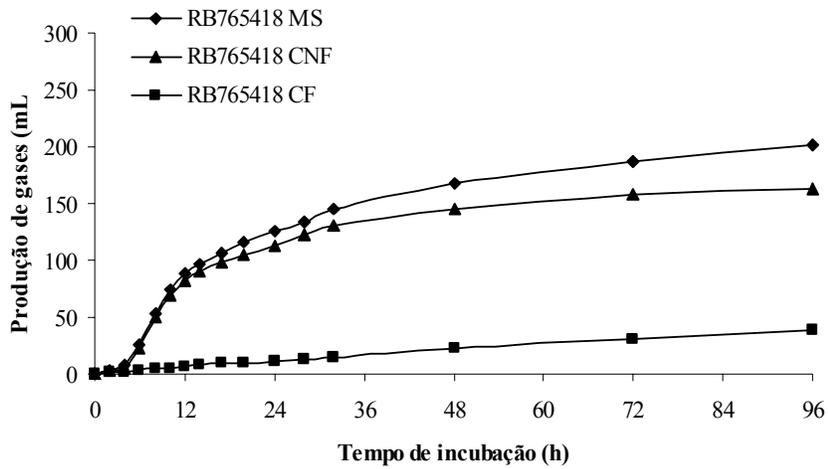
APÊNDICE



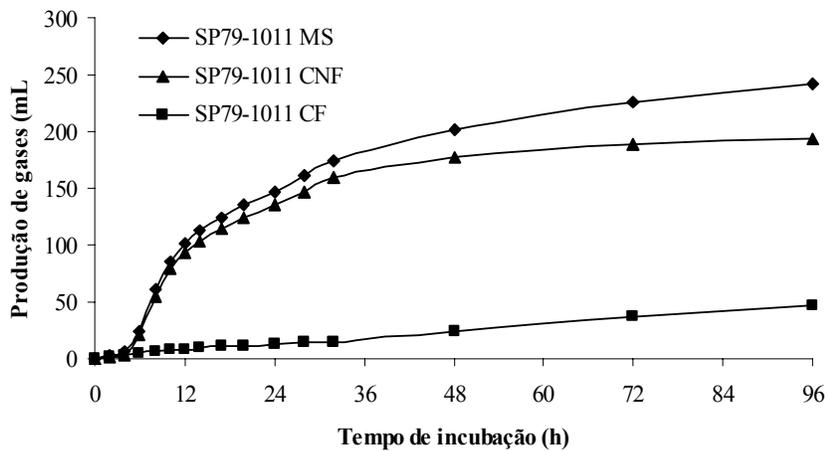
Apêndice 1A – Produção acumulada de gases da matéria seca (MS), carboidratos não fibrosos (CNF) e carboidratos fibrosos (CF) da variedade Java.



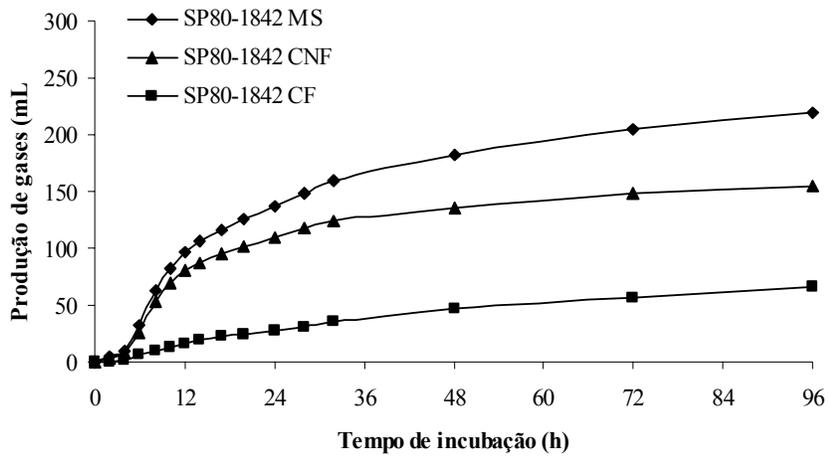
Apêndice 2A – Produção acumulada de gases da matéria seca (MS), carboidratos não fibrosos (CNF) e carboidratos fibrosos (CF) da variedade RB72454.



Apêndice 3A – Produção acumulada de gases da matéria seca (MS), carboidratos não fibrosos (CNF) e carboidratos fibrosos (CF) da variedade RB765418.



Apêndice 4A – Produção acumulada de gases da matéria seca (MS), carboidratos não fibrosos (CNF) e carboidratos fibrosos (CF) da variedade SP79-1011.



Apêndice 5A – Produção acumulada de gases da matéria seca (MS), carboidratos não fibrosos (CNF) e carboidratos fibrosos (CF) da variedade SP80-1842.