

Fracionamento e Cinética da Degradação *In Vitro* dos Carboidratos Constituintes da Cana-de-Açúcar com Diferentes Ciclos de Produção em Três Idades de Corte

Alberto Magno Fernandes¹, Augusto César de Queiroz², José Carlos Pereira², Rogério de Paula Lana³, Marcio Henrique Pereira Barbosa⁴, Dilermando Miranda da Fonseca³, Edenio Detmann⁶, Luciano da Silva Cabral⁶, Elzânia Sales Pereira⁵, Andréa Vittori⁶

RESUMO - Este trabalho foi conduzido com o objetivo de determinar as frações e as taxas de degradação dos carboidratos em cultivares de cana-de-açúcar, com dois ciclos de produção: precoce e intermediário, em três idades de corte (426, 487 e 549 dias). No fracionamento, foram calculados os carboidratos totais (CT), carboidratos não-fibrosos (CNF) e as frações potencialmente degradável (B_2) e não-degradável (C) da fibra em detergente neutro (FDN), corrigida para cinzas e proteína (FDNcp). Os parâmetros cinéticos dos CNF e fração B_2 foram estimados a partir da técnica da produção de gás *in vitro*. Os teores de CT e fração B_2 não diferiram entre os ciclos de produção, porém as precoces apresentaram maiores teores da fração C e menores dos CNF. Estabelecendo uma relação entre concentração de lignina obtida e fração C observada, por meio de ajuste de equação de regressão linear simples, sem intercepto, obteve-se o valor de 4,38, que diferiu de 2,4, sugerido pelo sistema Cornell. Portanto, para cana-de-açúcar, a fração C pode ser mais precisamente estimada a partir da lignina multiplicada por 4,38. O avanço da idade de corte causou aumento da fração C e redução da B_2 , sem interagir com a maturação; embora tenha sido linear, o incremento foi pequeno, de apenas 6% da fração C, quando comparado a outras gramíneas tropicais com a mesma idade de corte. Os parâmetros cinéticos não apresentaram diferenças entre variedades; entretanto, as taxas de degradação dos CNF foram inferiores às sugeridas pelo sistema Cornell. O ajuste da curva de produção cumulativa de gás (sistema bicompartimental) mostrou-se adequado, pois a cana-de-açúcar tem frações de carboidratos disponíveis muito distintas quanto à taxa de digestão (CNF e B_2). Por apresentar elevado teor de CNF e baixa taxa de degradação da fração B_2 , pesquisas com diferentes fontes de N para suplementar dietas à base de cana-de-açúcar são necessárias.

Palavras-chave: produção de gás *in vitro*, taxa de degradação, fracionamento de carboidrato

Fractionation and *In Vitro* Degradation Kinetics of Carbohydrates Constituents of Sugar Cane with Different Cycles of Production and Three Cut Time

ABSTRACT - The objective of this work was to determine the fractions and rates of degradation of the carbohydrates for sugar cane, with different cycles of production (early and intermediate), in three cut times (426, 487 and 549 days). The total carbohydrates (TC), non-fibrous carbohydrates (NFC), fractions potentially digestible (B_2) and indigestible (C) of the neutral detergent fiber (NDF), corrected for ashes and protein (NDFcp), were obtained. The kinetic parameters of NFC and fraction B_2 were obtained from the technique of *in vitro* gas production. The contents of TC and fraction B_2 did not differ among varieties, even though the early ones showed higher contents of the fraction C and smaller of NFC. By establishing a relationship between concentration of obtained lignin and observed C fraction, with adjustment of equation of simple linear regression, without intercept, it was obtained the value of 4.38, that differed of 2.4, suggested by the Cornell system. Therefore, for sugar cane, the fraction C could be estimated from the lignin multiplied by 4.38. The progress of the cut time caused linear increase of the C fraction and reduction of B_2 , without interaction with the cycle of production; although it has been linear, the increment was relatively small, 6% of the fraction C, when compared to the other tropical gramineas, with the same cut time. The kinetic parameters did not show differences among varieties; however, the estimated average digestion rates for NFC were lower than the suggested by the Cornell system. The adjustment of the curve of cumulative gas production (bicompartimental system) was shown appropriate because the sugar cane has fractions of available carbohydrate very different with relationship to the degradation rate (CNF and B_2). By presenting high content of NFC (sucrose) and low rate of degradation of the B_2 fraction, researches with different sources of N to supplement sugar cane based diets are necessary.

Key Words: *in vitro* gas production, degradation rate, carbohydrate fractions

¹Zootecnista, DS. Professor da UENF. E.mail: alberto@uenf.br

²Professor Titular, DZO-UFV E.mail: aqueiroz@mail.ufv.br

³Professor Adjunto, DZO-UFV.

⁴Professor Adjunto, DFT-UFV.

⁵Professora UNIOESTE.

⁶Estudante de Doutorado, DZO-UFV.

Introdução

Os carboidratos representam a principal reserva da energia fotossintética exercida nas membranas tilacóides dos cloroplastos nos seres fotoautotróficos (Brock et al., 1994). 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, na forma de ácidos graxos voláteis (AGV), pela ação microbiana nos compartimentos fermentativos e, diretamente, pela absorção de seus monômeros constituintes, nos intestinos desses animais (Van Soest, 1994).

Em termos nutricionais, os carboidratos podem ser classificados como fibrosos (CF) e não-fibrosos (CNF). Os primeiros, representados pela celulose e hemicelulose, juntamente com a lignina, apresentam disponibilidade nutricional incompleta e variável; são lentamente digeridos e ocupam espaço no trato gastrointestinal (TGI). Os CNF, representados pelos açúcares solúveis, amido e pectina, apresentam disponibilidade nutricional praticamente completa (aproximadamente 98%) e constante entre os alimentos e são rapidamente digeridos no TGI (Van Soest, 1967; Mertens, 1996).

No CNCPS - "Cornell Net Carbohydrate and Protein System", os carboidratos são classificados nas frações A, B₁, B₂ e C. A fração A corresponde aos carboidratos solúveis em água, representados principalmente pela glicose e sacarose, que são rapidamente fermentados pelas bactérias utilizadoras de CNF. A fração B₁ é composta por amido e pectina, rapidamente fermentados pelas bactérias utilizadoras de CNF. As frações B₂ e C correspondem às frações potencialmente degradável e não-degradável da fibra insolúvel em detergente neutro (FDN) (Sniffen et al., 1992). O CNCPS ainda classifica a população microbiana em bactérias que fermentam CNF, as quais utilizam NH₃, aminoácidos e peptídeos como fonte de compostos nitrogenados (N), e as bactérias que fermentam CF, cujo requisito em N é atendido somente pela NH₃. No CNCPS é idealizada com o fracionamento dos CT, juntamente com a proteína, a perfeita sincronização entre a disponibilidade de carboidratos e N no rúmen, possibilitando, com isso, aumento da eficiência microbiana e redução das perdas energéticas (CH₄) e nitrogenadas decorrentes da fermentação ruminal (Russell et al., 1992; Sniffen et al., 1992).

Os sistemas atuais de adequação de dietas para ruminantes necessitam de informações sobre o alimento no que diz respeito às suas frações de carboidratos e proteínas, bem como de suas taxas de digestão, para que se possa estimar com maior exatidão o desempenho dos animais e maximizar a eficiência de utilização dos nutrientes (Russell et al., 1992; Sniffen et al., 1992; Fox et al., 1992).

Portanto, foi objetivo deste trabalho estimar as frações dos carboidratos e suas taxas de digestão para a cana-de-açúcar com diferentes ciclos de produção, em três idades ao corte.

Material e Métodos

O local e as condições de realização do experimento, bem como a descrição das variedades e obtenção das amostras de cana-de-açúcar, em virtude do ciclo de produção e da idade de corte e análises laboratoriais, foram descritos por Fernandes et al. (2003).

As frações que compõem os carboidratos totais (CT) foram estimadas conforme Sniffen et al. (1992), em que os CT das amostras foram obtidos pela fórmula:

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

em que: os carboidratos não-fibrosos (CNF) foram obtidos pela fórmula:

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

em que: a fração C, ou fração não-degradável da fibra, foi obtida pela FDN residual, após 96 horas de incubação ruminal, por Fernandes et al. (2003), de acordo com Mertens (1993); a fração B₂, ou seja, a fibra potencialmente digestível, foi conseguida pela subtração da fração C da FDN_{cp} (fibra insolúvel em detergente neutro corrigida para o seu conteúdo em proteínas e cinzas).

Os parâmetros cinéticos dos CNF e da fração B₂ foram estimados a partir da técnica de produção de gás *in vitro*. Para tal, foram pesados 100 mg de amostra em frascos de vidro de 50 mL, que receberam 8 mL da solução-tampão de McDougal (1949), previamente reduzida com CO₂ (pH 6,9). Posteriormente, foram adicionados, em cada frasco, 2 mL de inóculo oriundo de um bovino fistulado no rúmen, sob aspersão de CO₂ e mantidos a 39°C em mesa de agitação orbital. Em seguida, os frascos foram tampados com rolha de borracha e lacre de alumínio para torná-los hermeticamente fechados, sendo a pressão interna de cada um deles zerada por meio de uma

agulha. A partir deste momento, a pressão dos gases produzidos pela fermentação do substrato e acumulada nos frascos foi mensurada por meio de um sensor de pressão acoplado a um multímetro, nos tempos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 9, 12, 18, 24, 30, 36, 48, 60, 72, 84 e 96 horas. As leituras de pressão, em volts, foram convertidas para mL de gás, conforme Pell & Schofield (1993). Para interpretação matemática dos parâmetros cinéticos da produção de gás, ajustou-se às curvas observadas o modelo bicompartimental (Schofield et al., 1994), descrito a seguir:

$$V = Vf_1 / (1 + \exp(2 - 4 * C1 * (T - L))) + Vf_2 / (1 + \exp(2 - 4 * C2 * (T - L)))$$

em que: Vf_1 equivale ao volume máximo de gás da fração dos CNF; $C1$ corresponde à taxa de degradação (%/h) desta mesma fração (CNF); Vf_2 refere-se ao volume máximo de gás da fração dos CF; C_2 representa a taxa de degradação (%/h) dos CF; e T e L referem-se aos tempos de incubação (horas) e à latência (horas), respectivamente. Para realização dos ajustes, foi utilizado o processo iterativo do algoritmo de Gauss Newton, por meio do programa SAEG - Sistema de Análises Estatísticas e Genéticas (Universidade Federal de Viçosa, 2000), adotando-se $\alpha = 0,05$.

Foi realizada a comparação entre a fração C , estimada pela equação de Sniffen et al. (1992), e a fração C observada, que corresponde à fração I obtida pelo método *in situ* (Fernandes et al., 2003),

estimada pelo modelo $R(t) = B * \text{EXP}(-C * T) + I$ (Mertens, 1993), tendo como objetivo avaliar precisão da estimativa da fração C (Sniffen et al. (1992) para a cana-de-açúcar.

Os dados relativos às frações de carboidratos e suas taxas de degradação foram analisados de acordo com o seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ijkl} = \mu + M_i + C_j + MC_{ij} + V_{(i)k} + E_{(ijk)l}$$

em que, Y_{ijkl} é o valor observado para o i -ésimo ciclo de produção da cana-de-açúcar, na j -ésima idade de corte da k -ésima variedade; μ é a constante geral; M_i é o efeito do ciclo de produção; C_j é o efeito da idade de corte; MC_{ij} é a interação do ciclo de produção i com a idade de corte j ; $V_{(i)k}$ é o efeito da variedade k dentro do ciclo de produção i e $e_{(ijk)l}$ é o erro aleatório, pressuposto normal e independentemente distribuído, com média 0 e variância σ^2 (Searle, 1971).

Resultados e Discussão

Na Tabela 1, são apresentados os teores das frações dos carboidratos para a cana-de-açúcar, considerando-se o efeito do ciclo de produção. As variedades precoces e intermediárias não diferiram quanto aos teores de CT e da fração B_2 . Entretanto, foram observadas diferenças quanto aos CNF e à fração C , em que as variedades precoces apresentaram teores maiores da fração C e menores dos CNF.

Tabela 1 - Frações dos carboidratos observadas e estimadas para a cana-de-açúcar, considerando os efeitos do ciclo de produção e idade de corte

Table 1 - Observed and estimated carbohydrate fractions for sugar cane, in function of the cycle of production and cut time effects

Itens ¹	Ciclo de produção ⁴		Idade de corte (dias)			Equações ajustadas ⁵	r ² /R ²
	Cycle of production ⁴		Cut time (days)				
	Precoce Early	Intermediário Intermediate	426	487	549		
CT	949,78 ^a	951,05 ^a	949,04	949,74	952,46	$\hat{y} = 945,07 + 0,0286**X$	0,1248
TC							
CNF2	479,56 ^a	497,75 ^b	491,54	481,93	492,50	$\hat{y} = 578,45 - 1,04nsX + 0,0028*X^2$	0,0655
NFC							
B22	308,01 ^a	301,01 ^a	293,53	317,50	302,51	$\hat{y} = 114,31 + 2,0983nsX - 0,0541**X^2$	0,1347
C2	156,99 ^a	149,95 ^a	162,47	148,28	149,65	$\hat{y} = 243,836 - 0,915122**X + 0,00216*X^2$	0,1468
B23	179,64 ^a	177,15 ^a	182,98	183,23	168,99	$\hat{y} = 200,21 - 0,1166**X$	0,0904
C3	290,57 ^a	276,15 ^b	274,52	284,58	290,98	$\hat{y} = 257,71 + 0,1372**X$	0,1357

¹ g/kg de MS.

² Valores estimados de acordo com Sniffen et al. (1992).

³ Valores observados.

⁴ Médias na linha, relativas ao ciclo de produção, seguidas por letras diferentes, são diferentes ($P < 0,05$) pelo teste F.

⁵ ns, *, **: não-significativo e significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste t, respectivamente.

¹ g/kg DM.

² Estimated values agreement with Sniffen et al. (1992).

³ Observed values.

⁴ Means, within a row, according to the cycle of production, followed by different letters, are different ($P < .05$) by F test.

⁵ ns, *, **: not significant and significant at 5 and 1% of probability by t test, respectively.

Tal fato seria esperado, uma vez que as variedades precoces, por apresentarem maior taxa de crescimento, atingem a maturidade com menor idade. Isto determina o aumento de estruturas de sustentação, representadas principalmente pelos CF e pela lignina (Wilson, 1997). Possivelmente, o desempenho de animais alimentados com tais gramíneas seria afetado pela limitação do consumo (Mertens, 1987), confirmado pela maior ($P < 0,05$) repleção ruminal estimada para as variedades precoces (Fernandes et al., 2003).

Os teores das frações dos CT encontrados neste trabalho são bem diferentes daqueles obtidos por Pereira (1999) que encontrou os seguintes valores: 337; 337,28; 387 g/kg de MS para as frações CNF, B₂ e C, respectivamente e Cabral et al. (2000), os seguintes valores: 201; 213 e 389,22 g/kg de MS, para as frações na ordem supra mencionadas. Entretanto, cabe ressaltar que tais valores foram obtidos de amostras de cana-de-açúcar de variedades e ciclos de produção desconhecidos, podendo estes fatores afetar estas composições.

Uma característica também importante da cana-de-açúcar é seu elevado teor da fração C de carboidratos, quando comparada a outras importantes gramíneas. Esta fração dos carboidratos totais é indisponível no rúmen e nos demais compartimentos digestivos dos ruminantes (Sniffen et al., 1992) e está relacionada ao consumo voluntário de alimentos e à disponibilidade de energia da dieta. Desta forma, a sua quantificação nos alimentos é de grande importância na nutrição dessas espécies de animais. No sistema Cornell (Sniffen et al., 1992), esta fração é estimada a partir da concentração de lignina multiplicada por 2,4. A utilização de uma constante para estimar tal fração significa admitir que a relação entre esta e o teor de lignina é do tipo $Y = b_1X$, isto é, o intercepto (b_0) é nulo, e que o coeficiente de regressão (b_1), para as diferentes espécies de alimentos, sob diferentes condições, é constante. Para avaliar a relação entre os valores observados para a fração não-degradável dos carboidratos, obtidas por Fernandes et al. (2003) e aquelas previstas segundo o CNCPS, realizou-se uma análise de regressão, em que foram testadas as hipóteses de nulidade $H_01: b_0 = 0$ e $H_02: b_1 = 1$, representada na Figura 1.

Em termos visuais, conforme exposto na Figura 1, observa-se grande distanciamento entre a região de dispersão e a linha representativa da relação teórica, em que os valores da fração C observados e estimados, segundo o CNCPS, se equivaleriam. Este com-

portamento dispersivo é confirmado por intermédio da regressão linear estabelecida entre os grupos de estimativas, representada pela linha descontínua (Figura 1), onde observou-se que o intercepto e o coeficiente de regressão foram diferentes de 0 ($P < 0,01$) e de 1 ($P < 0,01$), respectivamente. O comportamento observado leva a inferir que a relação entre o teor de lignina e a porção não-degradável dos carboidratos fibrosos, proposta pelo CNCPS (Sniffen et al., 1992), é diferente da observada para a cana-de-açúcar, sendo, dessa forma, não recomendada como ferramenta preditiva.

A linha superior no gráfico (tracejado maior) (Figura 1) representa a condição em que a fração C estimada corresponderia exatamente aos valores observados, ou seja, ambas as hipóteses seriam verdadeiras. Entretanto, pode ser notado que esta linha subestima a real fração C, uma vez que se encontra fora da dispersão dos dados. Pela equação obtida, representada pela linha descontínua (tracejado menor) no gráfico, pode-se visualizar o vício em relação aos dados, sendo rejeitadas ambas as hipóteses. Segundo a pressuposição do CNCPS, descrita anteriormente, a linha descontínua ajustou a equação, forçando o intercepto à nulidade e demonstra a falta de relação entre o C estimado e o observado ($r^2 = 0,0458$). A linha contínua refere-se à relação entre a fração C estimada e a observada, sendo o vício da

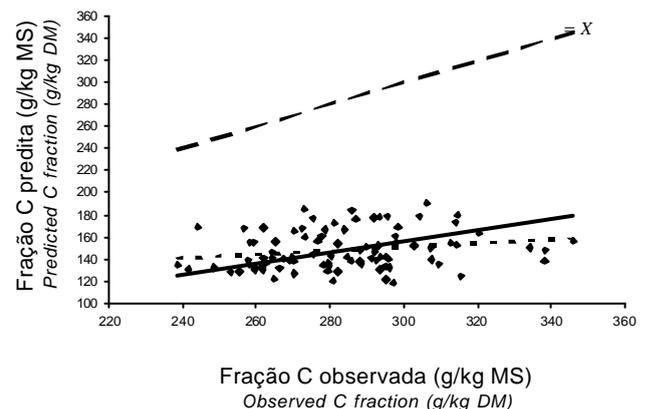


Figura 1 - Relação entre os valores observados (X) e preditos (Y), segundo o CNCPS, para a fração C dos carboidratos da cana-de-açúcar (Linha contínua - $\hat{Y} = 99,727 + 0,170X$, $r^2 = 0,0458$; linha descontínua - $\hat{Y} = 0,520X$, $r^2 = 0,9843$).

Figure 1 - Relation among the observed (X) and predicted values (Y), according to CNCPS, for the fraction C of the carbohydrate of the sugar cane (Continuous line - $\hat{Y} = 99.727 + .170X$, $r^2 = .0458$; discontinuous line - $\hat{Y} = .520X$, $r^2 = .9843$).

estimativa de 0,89 ($P < 0,0001$), ou seja, a fração C observada corresponde a 1,89 vez à fração C estimada, significando que a fração C para a cana-de-açúcar não pode ser estimada a partir do fator 2,4 ($r^2 = 0,9843$). Entretanto, para outras gramíneas tropicais como: tifton, capim-elefante, *braquiaria brizanta*, *braquiaria decumbens*, entre outras, Malafaia (1997) afirmou que a estimativa da fração C, pela utilização do fator encontrado em 168 horas de incubação, foi semelhante à obtida pela fórmula do CNCPS.

Ao estabelecer a equação de regressão entre as diferentes estimativas, forçando-se propositalmente o intercepto à nulidade, relação representada pela linha contínua (Figura 1), foi mostrado, em agregação ao procedimento anterior, que o coeficiente de regressão é diferente de 1 ($P < 0,01$). Neste contexto, pode-se definir o vício global no processo de estimação como a diferença entre o valor obtido para este coeficiente e o valor teórico do parâmetro ($b_1 = 1$) (Rayburn & Fox, 1993). Dessa forma, obteve-se vício de -0,4799, ou, de outra forma, a utilização da relação de lignina, conforme proposto pelo CNCPS (Sniffen et al., 1992), leva à subestimação da fração não-degradável dos carboidratos em 47,99%.

Segundo o enfoque abordado, a fração C dos carboidratos, obtida diretamente por submissão da amostra à degradação microbiana, parece fornecer estimativas mais realísticas para inferências acerca do potencial de degradação dos carboidratos fibrosos. No entanto, segundo exposto na Figura 2, uma aproximação poderia ser realizada se correções fossem estabelecidas sobre o fator proposto pelo CNCPS. Segundo a regressão estabelecida, a utilização do fator 4,38 sobre o teor de lignina da amostra, o qual diferiu de 2,4 ($P < 0,01$), pode ser empregado com relativa precisão, para cana-de-açúcar, na ausência de infra-estrutura para realização de ensaios *in vitro* ou *in situ*.

O avanço na idade ao corte acarretou acréscimo linear do teor dos CT, entretanto, a diferença em termos numéricos foi pequena (Tabela 1). Além disso, causou aumento linear ($P < 0,001$) da fração C e redução da B_2 ($P < 0,01$) observados. Este último efeito afetaria a disponibilidade de energia para as bactérias que utilizam carboidratos fibrosos (Russell et al., 1992) e o aumento da fração C, provavelmente, reduziria o consumo destas forrageiras, uma vez que esta fração, por ser indegradável, apresentaria lenta taxa de escape, permanecendo por maior período de tempo no ambiente ruminal. A lenta passagem da

fração C pelo rúmen afetaria o "turnover", diminuindo assim a eficiência microbiana, uma vez que haveria maior tempo de retenção da microbiota neste compartimento, fazendo com que grande parte da energia disponível aos microrganismos seja utilizada para fins de manutenção (Russell et al., 1992; Russell & Wallace, 1988).

Embora a cana-de-açúcar apresente elevada fração C de carboidratos e, que esta fração com a idade de corte tenha aumentando linearmente, o incremento é relativamente pequeno, pois, num intervalo de 120 dias, ou seja, do 426 ao 549 dias, houve aumento de apenas 6%, quando comparado ao acréscimo de 24% desta fração, em apenas 25 dias, em pastagens naturais durante a estação chuvosa, observado por Vieira (1998). Este tipo de comportamento confirma os relatos de Lima & Mattos (1993), de que a cana-de-açúcar, ao contrário de outras forrageiras (como *Melinis minutiflora*, *Hyparrhenia rufa* e *Paspalum* sp.), conserva o valor nutritivo por períodos relativamente prolongados.

No que diz respeito aos parâmetros cinéticos, não foram observadas diferenças entre as variedades precoces e intermediárias (Tabela 2). A taxa de digestão média estimada para os CNF foi $0,1835 \text{ h}^{-1}$. Este valor é menor do que aqueles sugeridos por Sniffen et al. (1992), que variaram de 1 a 4 h^{-1} para os carboidratos solúveis em água, obtidos com *Streptococcus bovis* crescendo em meio com apenas glicose e não glicose:frutose (1:1). Considerando que

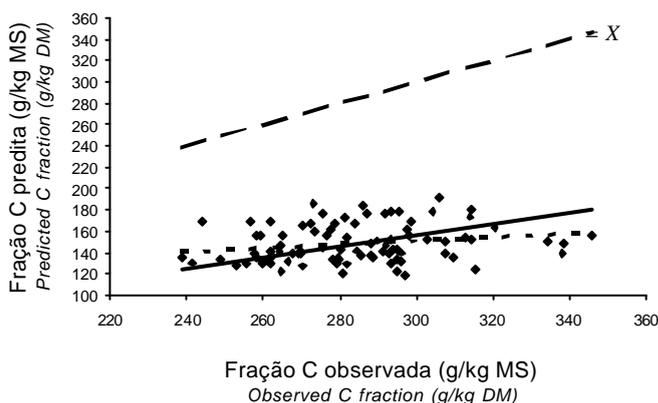


Figura 2 - Relação entre a concentração média de lignina e a média da fração C observada, obtida para a cana-de-açúcar (Linha contínua $\hat{y} = 4,38X$, $r^2 = 0,9842$).

Figure 2 - Relation between the lignin average concentration and observed average C fraction, obtained for sugarcane (Continuous line - $\hat{y} = 4.38X$, $r^2 = 0.9842$).

esta bactéria, em condições normais de alimentação, não representa a população microbiana média do rúmen e que sua taxa de produção de ATP por unidade de tempo é altíssima em relação às demais bactérias (Russell & Hespel, 1985), as taxas sugeridas por estes autores, para os açúcares solúveis, não devem ser comparadas com as obtidas em estudos realizados com a população microbiana representativa do ambiente ruminal.

Quanto à taxa de degradação dos CF da cana-de-açúcar, não houve diferença estatística entre os diferentes ciclos de produção (Tabela 2). Entretanto, os valores médios encontrados, 0,0227 h⁻¹, são relativamente baixos quando comparados aos valores de 0,055; 0,049; 0,036; 0,039; 0,0458 e 0,0408 h⁻¹, obtidos por Cabral et al. (2000), trabalhando com capim-elefante, capim tifton, silagem de milho, silagem de sorgo, feno de alfafa e feno de coastcross, respectivamente. A baixa taxa de degradação dos CF da cana-de-açúcar provoca um grande efeito de repleção ruminal, limitando o consumo de matéria seca, causando uma limitação na produção de animais com elevada demanda nutricional.

Como consequência da redução da disponibilidade de carboidratos fibrosos, ou seja, aumento da fração C e redução da fração B₂ observados, o volume total de gás foi reduzido linearmente com o aumento da idade de corte (Tabela 2).

Na Figura 3 são mostradas as curvas de produção cumulativa de gás para as variedades de cana-de-açúcar. O ajuste do modelo bicompartimental

(Schofield et al., 1994) aos dados é ilustrado na curva central, destacada a dispersão dos dados em cada tempo de leitura. No caso da cana-de-açúcar, a utilização deste modelo justifica-se, uma vez que esta gramínea apresenta frações de carboidratos disponíveis muito distintas quanto à taxa de degradação (CNF e B₂), sendo tal fato visualizado no formato das curvas de produção de gás, que apresentaram comportamento diáuxico. Este tipo de comportamento da curva de crescimento microbiano é muito comum quando há presença de nutrientes no meio que competem pelo mesmo sistema de transporte, como no caso dos açúcares regulados pelo sistema "PEPPTS" (Moat & Foster, 1995), ou quando da presença de nutrientes de natureza muito heterogênea. Elevadas concentrações de açúcares no ambiente de incubação também podem afetar a taxa de digestão de polímeros (fração B₂), pela repressão da síntese de enzimas responsáveis pela despolimerização deste compostos, como os complexos enzimáticos de digestão da celulose (Moat & Foster, 1995), pela exaustão de nutrientes (N), ou pela inibição por metabólitos.

A cana-de-açúcar destacou-se pelo elevado teor de CNF (sacarose), que é rapidamente usado por grupos específicos de bactérias no rúmen, chamadas de utilizadoras de CNF, as quais tem seus requisitos em compostos nitrogenados (N) atendidos em sua maior parte (66%) por aminoácidos e peptídeos (Russell et al., 1992). Dessa forma, o atendimento das exigências em N desses microrganismos, para máximo crescimento microbiano, deveria ser exercido

Tabela 2 - Taxas de digestão e volume de gás produzido para as frações dos carboidratos para a cana-de-açúcar, considerando os efeitos do ciclo de produção e a idade de corte

Table 2 - Digestion rate and gas production for carbohydrate fractions for sugar cane in function of the cycle of production and cut time

Itens ¹	Ciclo de produção ⁴		Idade de corte (dias)			Equações ajustadas ⁵	r ² /R ²
	Cycle of production		Cut time (days)				
	Precoce Early	Intermediário Intermediate	426	487	549		
Vft	26,74 ^a	26,93 ^a	28,17	26,42	25,91	$\hat{y} = 30,35 - 0,0188^{**}X$	0,2114
Vf ¹	9,88 ^a	9,86 ^a	10,88	10,08	8,65	$\hat{y} = 13,36 - 0,1864^{**}X$	0,2903
Vf ²	16,86 ^a	17,06 ^a	17,29	16,33	17,27	$\hat{y} = 25,5157 - 0,0980nsX + 0,000026^{**}X^2$	0,0936
C ¹	0,1822 ^a	0,1847 ^a	0,1727	0,1743	0,2033	$\hat{y} = 0,1356 + 0,00026^{**}X$	0,1377
C ²	0,0227 ^a	0,0227 ^a	0,0234	0,0212	0,0235	$\hat{y} = 0,0432 - 0,00024nsX + 0,0000064^{**}X^2$	0,1290

¹ Vft - volume máximo de gás produzido - mL (Vft - maximum produced gas volume - mL); Vf¹ - volume máximo de gás da fração de CNF - mL (Vf¹ - maximum gas volume of NFC fraction - mL); Vf² - volume máximo de gás da fração de CF - mL (Vf² - maximum gas volume of FC fraction - mL); C¹ - taxa de digestão para a fração de CNF - h⁻¹ (C¹ - digestion rate of NFC fraction - h⁻¹); C² - taxa de digestão para a fração de CF - h⁻¹ (C² - digestion rate of FC fraction - h⁻¹).

² Médias na linha, relativas ao ciclo de produção, seguidas por letras diferentes, são diferentes (P<0,05) pelo teste F.

³ ns, *, **: não-significativo e significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste t, respectivamente.

⁴ Means, within a row, according to the cycle of production, followed by different letters, are different (P<.05) by F test.

⁵ ns, *, **: not significant and significant at 5 and 1% of probability by t test, respectively.

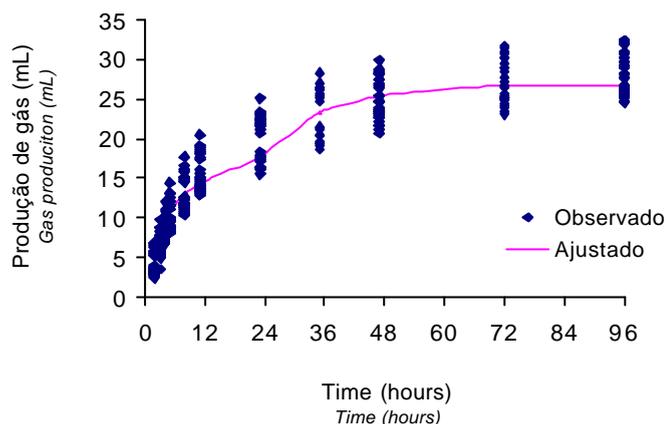


Figura 3 - Curvas de produção de gás dos dados observados do modelo bicompartimental.

Figure 3 - Gas production curves of observed data from bicompartimental model.

pelo fornecimento de proteína degradada no rúmen, principalmente nas primeiras horas após a alimentação, conforme observado na Figura 2, uma vez que os CNF são, neste período, a principal fonte de energia para a microbiota ruminal. Portanto, a recomendação do uso de uréia em dietas à base de cana-de-açúcar pode não ser a mais eficiente para maximizar o crescimento microbiano a partir da sacarose. Além disso, embora os microrganismos que fermentam CF utilizem somente NH_3 para crescimento, devido à lenta taxa de degradação da FDN da cana-de-açúcar (aproximadamente $0,02 \text{ h}^{-1}$), o uso de uréia pode não ser a forma mais adequada de fornecer N, uma vez que esta última é hidrolisada numa taxa muito elevada no rúmen e, dessa forma, fontes proteíca de lenta degradação poderiam ser mais eficientes.

Conclusões

A estimativa da fração não-degradável (C) dos carboidratos totais, a partir da proposição do CNCPS, foi subestimada para a cana-de-açúcar, devendo ser realizada por métodos biológicos.

As variedades de cana-de-açúcar precoces destacaram-se pela maior fração C e pelo menor teor de CNF, quando comparadas às variedades da cana-de-açúcar de ciclo de produção intermediário.

O aumento da idade ao corte teve como conseqüências o aumento da fração C e a redução da fração B_2 .

A cana-de-açúcar destacou-se pelo elevado teor de CNF, rapidamente fermentado, e por uma lenta taxa de digestão dos CF.

Literatura Citada

- BROCK, J.M.; MADIGAN, M.T.; MARTINKO, J.M. et al. **Biology of microorganisms**. 7.ed. Englewood Cliffs: Prentice-Hall International, 1994. 909p.
- CABRAL, L.S.; VALADARES FILHO, S.C.; MALAFAIA, P.A.M. et al. Frações de carboidratos de alimentos volumosos e suas taxas de degradação estimadas pela técnica de produção de gases. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, n.6, p.2087-2098, (suplemento 1), 2000.
- FERNANDES, A.M.; QUEIROZ, A.C.; PEREIRA, J.C. et al. Composição químico-bromatológica de variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum spp* L.) com diferentes ciclos de produção (precoce e intermediário) em três idades de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, n.4, p.977-985, 2003.
- FOX, D.G.; SNIFFEN, C.J.; O'CONNOR, J.D. et al. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: III. Cattle requirements and diet adequacy. **Journal Animal Science**, v.70, n.12, p.3578-3596, 1992.
- LIMA, M.L.M.; MATTOS, W.R.S. Cana-de-açúcar na alimentação de bovinos leiteiros. In: SIMPÓSIO SOBRE NUTRIÇÃO DE BOVINOS, 5., 1993, São Paulo. **Anais...**Piracicaba: FEALQ, 1993, p.77.
- MALAFAIA, P.A.M. **Taxas de digestão das frações proteicas e de carboidratos de alimentos por técnicas "in situ", "in vitro" e de produção de gases**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1997. 85p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, 1997.
- McDOUGAL, E.I. Studies on ruminal saliva. 1. The composition and output of sheep's saliva. **Biochemistry Journal**, v.43, n.1, p.99-109, 1949.
- MERTENS, D.R. Using fiber and carbohydrate analyses to formulate dairy rations. In: INFORMATIONAL CONFERENCE WITH DAIRY AND FORAGES INDUSTRIES, 1996, Wisconsin. **Proceedings...**Wisconsin: 1996. p.81-92.
- MERTENS, D.R. Rate and extent of digestion. In: FORBES, J.M.; FRANCE, J. (Eds.) **Quantitative aspects of ruminant digestion and metabolism**. Cambridge: CAB International, Cambridge University Press, 1993. p.13-51.
- MERTENS, D.R. Predicting intake and digestibility using mathematical models of ruminal function. **Journal of Animal Science**, v.64, n.5, p.1548-1558, 1987.
- MOAT, A.G.; FOSTER, J.W. **Microbial physiology**. 1.ed. New York: 1995. 580p.
- PELL, A.N.; SCHOFIELD, P. Computerized monitoring of gas production to measure forage digestion in vitro. **Journal of Dairy Science**, v.76, n.9, p.1063-1073, 1993.
- PEREIRA, E.S. **Dinâmica ruminal e pós-ruminal da proteína e de carboidratos: aplicação de um modelo matemático para avaliação de dietas à base de cana-de-açúcar**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1999. 95p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, 1999.
- RUSSELL, J.B.; O'CONNOR, J.D.; FOX, D.J. et al. A net carbohydrate and protein system for evaluation for cattle diets: Ruminal fermentation. **Journal of Animal Science**, v.70, n.12, p.3551-3581, 1992.
- RUSSELL, J.B.; WALLACE, R.J. Energy yielding and consuming reactions. In: HOBSON, P.N. (Ed.) **The rumen microbial ecosystem**. London: Elsevier Applied Science, 1988. p.185-216.

- RUSSELL, J.B.; ROBINSON, P.H. Compositions and characteristics of strains of *Streptococcus bovis*. **Journal of Dairy Science** v.67, n.6, p.1525-1536, 1984
- RUSSELL, J.B.; HESPEL, R.B. Regulation of lactate production in *Streptococcus bovis*: A spiraling effect that contribute to rumen acidosis. **Journal Dairy Science**, v.68, n.7, p.1712-1725, 1985.
- SCHOFIELD, P.; PITT, R.E; PELL, A.N. Kinetic of fiber digestion from *in vitro* gas production. **Journal of Animal Science**, v.72, n.11, p.2980-2991, 1994.
- SEARLE, S.R. **Linear models**. New York: John Wiley & Sons, 1971. 532p.
- 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, n.7, p.3562-3577, 1992.
- UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA - UFV. **SAEG – Sistema de análise estatística e genética**. Versão 8.0. Viçosa, MG. 2000.
- Van SOEST, P.J. Development of a comprehensive system of feed analyses and its application to forages. **Journal of Animal Science**, v.2, n.1, p.119-128, 1967.
- Van SOEST, P.J. **Nutritional ecology of the ruminant**. 2.ed. New York: Cornell University Press, 1994. 476p.
- VIEIRA, R.A.M. **Simulação da dinâmica dos nutrientes no trato gastrointestinal: Aplicação e validação de um modelo matemático para bovinos a pasto**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1998. 91p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, 1998.
- WILSON, J.R. Structural and anatomical traits of forages influencing their nutritive value for ruminants. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUÇÃO ANIMAL EM PASTEJO, 1997, Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1997. p.173-208.

Recebido em: 04/12/01

Aceito em: 30/04/03