

Fracionamento dos Carboidratos e Cinética de Degradação *In Vitro* da Fibra em Detergente Neutro da Extrusa de Bovinos a Pasto¹

Ricardo Augusto Mendonça Vieira², José Carlos Pereira³, Pedro Antônio Muniz Malafaia⁴, Augusto César de Queiroz³, André Luigi Gonçalves⁵

RESUMO - Os objetivos do presente trabalho foram a caracterização e a determinação das estimativas dos parâmetros relativos à cinética de degradação ruminal dos carboidratos, em amostras de extrusa de animais mantidos em pastagem natural da Zona da Mata (MG), nas estações chuvosa e seca do ano. Para obtenção de amostras representativas, foram usados quatro animais fistulados no esôfago durante dois períodos experimentais na estação chuvosa, e três destes animais por dois períodos experimentais na estação seca, do ano de 1996. Foi efetuado o fracionamento dos carboidratos de acordo com o sistema *Cornell* e determinadas as taxas de degradação da fibra em detergente neutro (FDN), a partir dos perfis de degradação *in vitro* deste componente. Foram determinadas as frações potencialmente degradável (B₂) e indegradável (C) da FDN, corrigida para proteína e cinzas, e as taxas de latência dinâmica, degradação e crescimento específico dos microrganismos, a partir da fração B₂, além dos coeficientes de degradabilidade e do efeito de repleção ruminal da FDN. Observou-se que os carboidratos não-estruturais compreenderam pequena fração dos carboidratos totais nas amostras do pasto, em ambas as estações. Os carboidratos estruturais foram responsáveis pelo aumento no teor de carboidratos totais da extrusa, com a mudança da estação chuvosa para a estação seca; contudo, por causa do aumento da fração C e da menor taxa de crescimento específico dos microrganismos durante a estação seca, foi possível notar redução da degradabilidade e aumento do efeito de repleção ruminal da FDN da extrusa.

Palavras-chave: carboidratos estruturais e não-estruturais, pastos tropicais, ruminantes

Carbohydrate Fractionation and Kinetic of the Neutral Detergent Fiber *In Vitro* Degradation of the Extrusa from Grazing Cattle

ABSTRACT - The objectives of the present work were to characterize and determinate the parameters estimates related to the ruminal degradation kinetics of the carbohydrates in extrusa samples from animals maintained in a natural pasture of the Zona da Mata (MG) region, during the rainy and dry seasons of the year. To obtain representative samples, four esophageal fistulated steers were used in two experimental periods during the rainy season, and three of these animals were used in two experimental periods during the dry season, in the year of 1996. The carbohydrate fractionation according to the *Cornell* system was done, and the neutral detergent fiber (NDF) degradation rates were obtained from the *in vitro* degradation profiles of this component. The potentially degradable (B₂) and undegradable (C) fractions of NDF corrected for protein and ash, the dynamic lag rates, the degradations rates, and the specific growth rates of microorganism upon fraction B₂ were obtained, as well as the degradability coefficients and the rumen fill effect of NDF. As a result, it was possible to observe that the non-structural carbohydrates comprised a minor fraction of the total carbohydrates in the pasture samples in both seasons. The structural carbohydrates were responsible by the total carbohydrate increase in the extrusa from the rainy to the dry season; nevertheless, due to the C fraction increase and to the lower specific microorganism growth rates during the dry season, it was noticeable the reduction of the extrusa NDF degradability and its increased rumen fill effect.

Key Words: ruminants, structural and non-structural carbohydrates, tropical pastures

Introdução

Os carboidratos compreendem os grupos de compostos que encerram as substâncias orgânicas mais abundantes da biosfera; além disso, constituem a principal fonte de energia para os primeiros níveis tróficos da teia alimentar (LEHNINGER et al., 1993). Entre os carboidratos, aqueles que constituem a

parede celular vegetal representam a principal fonte de energia para os herbívoros, que, por sua vez, se encontram distribuídos em várias classes e ordens; entre elas, os artiodáctilos das subordens *Tylopoda* e *Ruminantia* são os que apresentam maior eficiência de utilização da energia potencial química contida nessas estruturas, o que confere aos ruminantes domésticos papel de destaque na alimentação e em

¹ Parte da tese de doutorado do primeiro autor, financiada pelo CNPq.

² Professor Adjunto, UEG, Anápolis, GO; Pesquisador, NASB/CCA/IMEP, Caixa Postal 21, cep: 75180-000, Silvânia, GO.

³ Prof. Titular, DZO/UFV.

⁴ Prof. Adjunto, DNAP/IZ/UFRRJ.

⁵ Pesquisador, convênio PROCABRA/DZO/UFV, Viçosa, MG.

outros usos para a humanidade (CHURCH, 1988; HOFMANN, 1988; e VAN SOEST, 1994).

Os sistemas para avaliação de alimentos e determinação das exigências nutricionais dos ruminantes tratam de forma diferente as porções dos alimentos que constituem as fontes de energia para esses animais. O conteúdo em energia metabolizável fermentescível de um alimento é utilizado no sistema AGRICULTURAL AND FOOD RESEARCH COUNCIL - AFRC (1993), para estimar o crescimento microbiano e, conseqüentemente, a contribuição da proteína microbiana em ácidos aminados para o hospedeiro. Seu cômputo baseia-se no conteúdo em energia metabolizável do alimento, descontando-se a contribuição em energia metabolizável do extrato etéreo; no caso das silagens, desconta-se também a contribuição em energia metabolizável dos ácidos orgânicos. O teor em nutrientes digeríveis totais (NDT) é utilizado para calcular a eficiência de crescimento microbiano no sistema NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC (1989). Entretanto, neste sistema, não são consideradas as inter-relações dinâmicas do ecossistema ruminal (RUSSELL et al., 1992; NRC, 1996).

O sistema *Cornell* baseia-se no fracionamento dos carboidratos e no modo diferenciado como os microrganismos ruminais fazem uso destes compostos, sendo levadas em consideração as diferenças quanto à utilização dos carboidratos para manutenção e crescimento, quanto à utilização e natureza dos compostos nitrogenados consumidos e quanto à sincronização entre a disponibilidade de energia e nitrogênio para maximização do crescimento microbiano em nível de rúmen (RUSSELL et al., 1992; SNIFFEN et al., 1992; e NRC, 1996). Neste sistema, os carboidratos são classificados em não-estruturais (CNE), que compreendem as frações A (açúcares) e B₁ (amido e compostos fibrosos solúveis), e estruturais (CE), constituídos pelas frações B₂ e C, que correspondem às frações potencialmente degradável e indegradável da fibra em detergente neutro do alimento, corrigida para o seu conteúdo em proteína e cinzas (VAN SOEST et al., 1991; SNIFFEN et al., 1992; VAN SOEST, 1994).

No Brasil, as pastagens constituem importante fonte de energia para os ruminantes, por isso, tornam-se necessários o estudo e a caracterização dos carboidratos, ou seja, das frações que os compõem e dos aspectos relativos à cinética de degradação ruminal destes compostos. Para tanto, é necessária a obtenção de amostras representativas do pasto con-

sumido pelos animais, que, por sua vez, podem ser perfeitamente obtidas por meio da utilização de animais fistulados no esôfago, principalmente quando o objetivo for a determinação da composição bromatológica desse material (MINSON et al., 1976; LIMA et al., 1998).

Os objetivos do presente trabalho foram a caracterização e a determinação das estimativas dos parâmetros relativos à cinética de degradação ruminal dos carboidratos contidos nas amostras de extrusa de animais mantidos em pastagem natural, nas estações chuvosa e seca do ano.

Material e Métodos

As amostras representativas de uma pastagem natural, localizada na Zona da Mata, Estado de Minas Gerais, foram obtidas durante as estações chuvosa (EC) e seca (ES) do ano de 1996, conforme descrito por VIEIRA et al. (2000a). Sobre as amostras compostas individualmente para cada animal, obtidas em cada período, dentro das respectivas estações, foram realizadas as determinações laboratoriais, para obtenção do fracionamento dos carboidratos. Paralelamente, foram conduzidos ensaios de degradação *in vitro* para obtenção das estimativas dos parâmetros relativos à cinética de degradação dos carboidratos estruturais, contidos na fibra em detergente neutro (FDN).

O teor de carboidratos totais (CT) foi estimado após a determinação dos teores em nitrogênio total, extrato etéreo e matéria mineral (ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS - AOAC, 1990). Para o seu cálculo, foi empregada a equação proposta por SNIFFEN et al. (1992), e os resultados expressos em g kg⁻¹ na base da matéria seca (MS).

Os carboidratos solúveis em água foram determinados por espectrofotometria, mediante o uso do complexo azul-esverdeado, formado quando estes compostos foram aquecidos em solução que continha antrona em meio fortemente ácido (DERIAZ, 1961; THOMAS, 1977). Os detalhes do procedimento para determinação dos carboidratos solúveis podem ser encontrados em VIEIRA (1998).

A degradação *in vitro* da FDN foi obtida ao incubar as amostras em frascos erlenmeyers (250 mL), tendo como inóculo o líquido de rúmen, acrescido de solução-tampão de McDougall, enriquecida com glicose (0,5 g L⁻¹) e uréia (0,1 g L⁻¹), de acordo com GONZÁLEZ et al. (1990), e mantidos em incubadora com aquecimento (39°C) e mesa de agitação orbital automáticos. O procedimento para incubação das

amostras seguiu a metodologia descrita por VIEIRA (1995), com algumas modificações. Os tempos de incubação foram de 3, 6, 9, 12, 24, 36, 72 e 96 horas. Terminada a incubação, o conteúdo de cada frasco foi transferido quantitativamente para um cadinho filtrante (porosidade média entre 40 e 60 μm), de massa previamente conhecida, que, em seguida foi depositado em copo-béquer de 500 mL, ao qual eram adicionados 150 mL de solução detergente neutra. Após 1 hora de fervura, filtrou-se o conteúdo do béquer no mesmo cadinho, utilizando água destilada quente para a lavagem e transferência do resíduo final, com subsequente lavagem com acetona (50 mL). Ao final, o cadinho que continha o resíduo foi levado à estufa (105°C), para secagem e posterior pesagem.

Os perfis de degradação da fibra em detergente neutro (FDN) obtidos pelo procedimento descrito acima foram interpretados cineticamente, utilizando o modelo proposto por VAN MILGEN et al. (1991). Este modelo, adequado a perfis de degradação sigmoidais (VIEIRA et al., 1997a), pode ser representado pela seguinte expressão:

$$R(t) = U(0) \times \frac{c_2 \times \exp(-p_2 \times t) - p_2 \times \exp(-c_2 \times t)}{c_2 - p_2} + I(0) \quad (1)$$

em que $R(t)$ corresponde ao resíduo de incubação (%), após determinado tempo, t (h); $U(0)$ equivale à fração potencialmente degradável (%); $I(0)$ corresponde à fração indegradável (%); p_2 (h^{-1}), à taxa de latência dinâmica; e c_2 (h^{-1}), à taxa de degradação, propriamente dita, da fração potencialmente degradável dos carboidratos contidos na parede celular insolúvel em solução detergente neutra.

A FDN corrigida para o seu conteúdo em proteína e cinzas (VAN SOEST et al., 1991) foi obtida por meio da fervura das amostras de extrusa na solução detergente neutra, sendo, em seguida, o cadinho levado à mufla a 600°C, por 1 hora, para determinação do teor de matéria mineral insolúvel no detergente neutro. A correção para a proteína foi realizada ao tomar o valor da proteína insolúvel no detergente neutro (PIDN), conforme descrito em VIEIRA et al. (2000a). Por não ter sido possível efetuar a correção para proteína e matéria mineral insolúveis no detergente neutro em cada tempo de incubação, as frações B_2 e C foram obtidas considerando as frações padronizadas da FDN, da seguinte maneira:

$$B_2 (\% \text{ CT}) = U_p \times \text{FDN}_{\text{cp}} \quad (2)$$

$$C (\% \text{ CT}) = I_p \times \text{FDN}_{\text{cp}} \quad (3)$$

em que U_p e I_p equivalem, respectivamente, às esti-

mativas padronizadas $U(0)/[U(0)+I(0)]$ e $I(0)/[U(0)+I(0)]$ (VIEIRA et al., 1997b); e FDN_{cp} representa a fibra em detergente neutro, corrigida para cinzas e proteínas insolúveis nessa solução (VAN SOEST et al., 1991). A fração B_1 foi obtida pela diferença entre o total de carboidratos não-estruturais, calculado de acordo com VAN SOEST et al. (1991), e o conteúdo em carboidratos solúveis (fração A); ambos foram expressos em g kg^{-1} MS. No presente estudo, a fração B_1 engloba o amido e as substâncias fibrosas solúveis constituídas principalmente por polissacarídeos não-amiláceos (VAN SOEST et al., 1991).

Ao considerar a taxa de passagem de $0,02 \text{ h}^{-1}$ (AFRC, 1993) para ambas as estações, o coeficiente de degradabilidade ruminal efetiva da fração B_2 foi estimado a partir da expressão descrita por VIEIRA et al. (1997b):

$$\text{DEG}(B_2) = \frac{c_2 \times p_2}{(c_2 + k) \times (p_2 + k)} \quad (4)$$

em que $\text{DEG}(B_2)$ representa o coeficiente de degradabilidade ruminal efetiva da fração B_2 ; c_2 e p_2 têm o mesmo significado biológico descrito anteriormente; e k equivale à taxa de passagem da digesta no rúmen (h^{-1}).

Os coeficientes de degradabilidade ruminal das frações A e B_1 foram considerados iguais a 1, pelo fato de, em geral, a taxa de crescimento específico dos microrganismos sobre estas frações tender a ser muito maior que a taxa de passagem do alimento, mesmo quando se considera a taxa de passagem da fase líquida para a estimativa do escape de frações solúveis, como pode ser verificado em SNIFFEN et al. (1992) e no NRC (1996).

Os níveis de repleção ruminal (RR) total e parcial das frações potencialmente degradável ($RR(U)$) e indegradável ($RR(I)$) da FDN foram estimados a partir da expressão:

$$RR = U_p \times \frac{c_2 + p_2 + k}{(c_2 + k) \times (p_2 + k)} + I_p \times \frac{1}{k} \quad (5)$$

em que RR , expresso em horas (h), representa o efeito de repleção ruminal total. O nível de repleção da fração potencialmente degradável equivale ao primeiro termo da equação (5), e a mesma medida, para a fração indegradável, é dada pelo segundo termo da mesma expressão (VIEIRA et al., 1997b).

Pressupondo que a quantidade de matéria que desaparece no fermentador é diretamente proporcional

à massa microbiana formada, é possível estimar a taxa de crescimento dos microrganismos a partir do consumo de substrato (BROCK et al., 1994). Portanto, a taxa de crescimento específico dos microrganismos sobre a fração B₂ foi obtida a partir da função recíproca, $D(t)$, da equação (1):

$$D(t) = U(0) + I(0) - R(t) \quad (6)$$

e ao diferenciar a recíproca em função do tempo, tem-se que

$$\frac{dD(t)}{dt} = \frac{U(0) \times c_2 \times p_2 \times [exp(-p_2 \times t) - exp(-c_2 \times t)]}{(c_2 - p_2)} \quad (7)$$

O coeficiente angular da equação da reta tangente ao ponto de inflexão da função representada pela equação (6) é dado pelo valor da primeira derivada (equação (7)) no ponto de inflexão (VIEIRA et al., 1997b); sua estimativa foi obtida por meio da seguinte expressão:

$$\mu_{m_2} = \frac{dD(t_i)}{dt} \quad (8)$$

em que μ_{m_2} % h⁻¹ corresponde à taxa de crescimento máxima dos microrganismos sobre a fração B₂; e t_i , à abscissa ao ponto de inflexão, estimada de acordo com as expressões descritas por VIEIRA et al. (1997b). Assim, a taxa de crescimento específico foi calculada ao empregar a seguinte definição (BEUVINK e KOGUT, 1993):

$$s_{gr} = \frac{\mu_{m_2}}{U(0)} \quad (9)$$

em que s_{gr} h⁻¹ equivale à taxa de crescimento específico dos microrganismos sobre a fração B₂.

A análise estatística dos dados foi realizada de acordo com o modelo descrito por VIEIRA et al. (2000a).

Resultados e Discussão

Os carboidratos não-estruturais (CNE = A + B₁) compreenderam apenas 15% dos carboidratos totais (CT), na estação chuvosa, e 12,5%, durante a estação seca (Tabela 1). A proporção de CNE (% dos CT) diminuiu significativamente entre as duas estações, no entanto, a disponibilidade, ou seja, a quantidade de CNE (g kg⁻¹ MS) não foi alterada entre estações e tampouco entre períodos dentro de estações, como pode ser visualizado na Tabela 2 e na Figura 1. Tal fato reflete a grande importância dos carboidratos estruturais, particularmente sua fração potencialmente degradável, como fonte de energia para os animais a pasto (Figura 1). Foram detectadas reduções significativas tanto nas proporções como nos

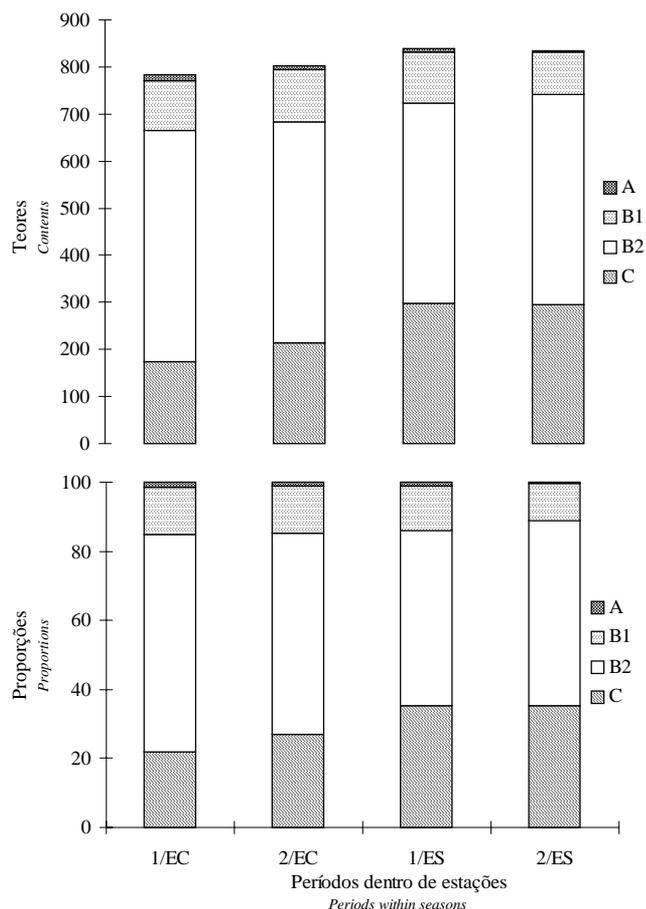


Figura 1 - Teores (g kg⁻¹ MS) e proporções (% dos CT) das diferentes frações de carboidratos nos diferentes períodos (1 e 2), dentro das estações chuvosa (EC) e seca (ES).

Figure 1 - Contents (g kg⁻¹ DM) and proportions (% TC) of the different carbohydrate fractions in the different periods (1 and 2) within the rainy (EC) and dry (ES) seasons.

teores das classes A e B₂, sem haver, no entanto, alteração em ambas as variáveis para a fração B₁ (Tabela 2, Figura 1), a qual é constituída de amido e compostos fibrosos solúveis em solução detergente neutra (VAN SOEST et al., 1991) e não sofreu alteração com a mudança da estação chuvosa para a estação seca. Contudo, houve aumento significativo (Tabelas 1 e 2) do teor em CT (g kg⁻¹ MS), em virtude do crescimento das estruturas na parede celular vegetal, representado pela combinação das frações B₂ e C (FDN_{cp} = B₂ + C) e pelo aumento significativo da FDN entre as estações, ou seja, de 747 g kg⁻¹ MS na EC para 784 g kg⁻¹ MS na ES (Tabelas 1 e 2).

A fração C dos carboidratos totais pode ser considerada indisponível tanto em nível de rúmen como de intestinos (SNIFFEN et al., 1992; MERTENS, 1993a; e VIEIRA et al., 1997b). No

Tabela 1 - Valores médios obtidos com o fracionamento dos carboidratos contidos nas amostras de extrusa

Table 1 - Average values obtained with the fractionation of the carbohydrates contained in the extrusa samples

Proporções ¹ Proportions ¹	Estação chuvosa Rainy season		Estação seca Dry season	
	Período 1 Period 1	Período 2 Period 2	Período 1 Period 1	Período 2 Period 2
A	1,57	0,91	1,06	0,45
B ₁	13,60	13,91	12,86	10,62
B ₂	62,72	58,38	50,73	53,54
C	22,11	26,81	35,36	35,39
Lignina ² Lignin ²	7,26	8,68	9,75	7,47
Teores ³ Contents ³				
CT	784	801	840	834
TC				
FDN	754	740	776	791
NDF				
C	173	215	291	295
Lignina	55	64	76	59
C:Lignina	3,3	3,4	4,5	5,2
C:Lignin				

¹ % dos carboidratos totais, CT; ² % da FDN; ³ g kg⁻¹ MS; as estimativas médias provêm de quatro repetições na estação chuvosa e três repetições na estação seca.

¹ % of the total carbohydrates, TC; ² % of NDF; ³ g kg⁻¹ DM; the mean estimates come from four replications during the rainy season and three replications during the dry season.

presente estudo, verificou-se aumento significativo tanto entre as proporções como entre os teores desta fração, para as diferentes estações (Tabelas 1 e 2). A possível relação entre o teor de lignina e a fração indigerível dos constituintes da parede celular vegetal tem sido relatada na literatura (MERTENS, 1993b). A estimativa da fração C no sistema Cornell é obtida ao multiplicar a quantidade de lignina pela constante 2,4 (SNIFFEN et al., 1992); na literatura, este valor está entre 2,4 e 3,0 (VAN SOEST, 1994). Contudo, pressupor que a fração C possa ser estimada por alguma constante significa dizer que a relação entre esta e o teor de lignina é do tipo $Y = \beta_1 X$, ou seja, é assumir que o intercepto (β_0) é nulo e que não existem diferenças entre os coeficientes de regressão que possam ser obtidos para as diferentes espécies e diferentes condições de crescimento das forrageiras. No presente estudo, houve diferença significativa entre estações para o quociente C:Lignina (Tabelas 1 e 2), tendo sido não-significativo o coeficiente de correlação entre estas variáveis ($\hat{\rho}=0,4526$; $P=0,052$), portanto, o valor médio de 4,09 para essa relação não pode ser recomendado para obtenção das estimativas da fração C. Outra forma de avaliar tal situação é verificar se não houve efeito de estação tanto para a

proporção de lignina na FDN como nos teores de lignina, expressos na base da matéria seca (Tabela 2). Logo, a obtenção da fração C deve basear-se em procedimentos biológicos diretos (VAN SOEST, 1994), tendo como exemplos os ensaios de degradação *in situ* ou *in vitro* descritos por MERTENS (1993a) e VIEIRA (1995), os quais compõem a metodologia relativa à cinética de degradação da FDN no presente estudo. Outro aspecto importante a ser ressaltado é que as estimativas de C relatadas na literatura foram obtidas a partir de amostras de forrageiras colhidas manual e integralmente, ou seja, incluindo folhas e caules (MALAFAIA et al., 1997, 1999), entretanto, existem diferenças significativas entre a composição do material colhido diretamente e a do material colhido pelo animal durante o pastejo (LIMA et al., 1998).

Existe carência de um sistema satisfatório para classificação dos carboidratos prontamente digeríveis (CNE) dos alimentos usados na alimentação animal (vide coeficientes de variação na Tabela 2). Contudo, em alguns alimentos, esses compostos são os principais provedores de energia para os animais. Esta carência se deve à grande diversidade da natureza físico-química dessas substâncias (VAN SOEST et

Tabela 2 - Níveis descritivos dos testes (valores *P*) realizados para verificação dos efeitos de estação e períodos dentro das estações chuvosa (P/EC) e seca (P/ES)
 Table 2 - Descriptive levels of the tests (*P*-values) applied to check the effects of season, and periods within rainy (P/EC) and dry (P/ES) seasons

Item	Estação	P/EC	P/ES	CV(%)
Proporções ¹ <i>Proportions</i> ¹				
A	0,011	0,009	0,029	28,3
B ₁	0,065	n.s.	0,159	14,0
CNE	0,027	n.s.	0,079	12,8
NSC				
B ₂	0,000	0,001	0,028	2,4
C	0,000	0,018	n.s.	8,1
B ₂ + C	0,027	n.s.	0,079	2,1
Lignina ²	0,325	0,107	0,034	13,8
Lignin ²				
Parâmetros ³ <i>Parameters</i>				
s _{gr} (h ⁻¹)	0,000	0,032	n.s.	7,2
c ₂ (h ⁻¹)	0,005	0,126	n.s.	18,5
p ₂ (h ⁻¹)	n.s.	0,016	n.s.	31,6
Teores ⁴ <i>Contents</i> ⁴				
CT	0,000	0,166	n.s.	2,0
TC				
A	0,021	0,013	0,026	28,9
B ₁	0,214	n.s.	0,136	14,2
CNE	0,106	n.s.	0,067	13,1
NSC				
B ₂	0,001	0,071	0,164	3,6
C	0,000	0,011	n.s.	7,9
B ₂ + C	0,000	0,251	0,268	2,9
FDN	0,000	0,119	0,180	1,6
NDF				
Lignina	0,116	0,148	0,041	13,7
Lignin				
C:Lignina	0,008	n.s.	0,051	18,1
C:Lignin				

¹ % dos CT; ²% da FDN; ³s_{gr}, c₂ e p₂ (estimativas na Tabela 3) correspondem à taxa de crescimento específico, taxa de degradação e taxa de latência dinâmica da fração B₂; ⁴g kg⁻¹ MS; n.s., não-significativo, usado quando $\hat{F} < 1$.

¹ % of TC; ²% of NDF; ³s_{gr}, c₂ e p₂ (estimates on Table 3) correspond to the specific growth rate, the degradation rate, and the dynamic lag rate of the B₂ fraction; ⁴g kg⁻¹ DM; n.s., non-significant, used when $\hat{F} < 1$.

al., 1991). Contudo, apesar dessa diversidade, o uso da fermentação *in vitro* dos monossacarídeos, derivados da degradação das frações potencialmente degradáveis dos carboidratos, possibilita a quantificação da contribuição gasogênica de cada uma dessas frações e a obtenção das estimativas dos parâmetros relacionados ao crescimento dos microrganismos sobre tais compostos (SCHOFIELD e PELL, 1995; MALAFAIA et al., 1999).

Ocorreu redução significativa da taxa de degradação (c₂, h⁻¹) da fração potencialmente degradável dos carboidratos estruturais, apesar da pouca precisão das

estimativas (Tabelas 2 e 3). Na EC, a fração B₂ era degradada mais rapidamente pelos microrganismos (0,090 h⁻¹); logo, conclui-se que a taxa de degradação diminuiu no material consumido pelos animais durante a ES (0,062 h⁻¹). O mesmo não pode ser dito a respeito da taxa de latência dinâmica, que não sofreu alteração significativa; entretanto, a ausência de verificação de efeitos pode ser atribuída ao elevado coeficiente de variação destas estimativas (Tabela 2). Contudo, o valor médio de 0,215 h⁻¹ (Tabela 3) constitui-se em estimativa razoável para este parâmetro em ambas as estações.

A taxa de crescimento específico dos microrga

Tabela 3 - Estimativas médias dos parâmetros da cinética de degradação *in vitro* da fibra em detergente neutro (FDN) para os diferentes períodos dentro de cada estação
 Table 3 - Average *in vitro* degradation kinetic parameters estimates of the neutral detergent fiber (NDF) in the different periods within each season

Parâmetros <i>Parameter</i>	Estação chuvosa <i>Rainy season</i>		Estação seca <i>Dry season</i>	
	Período 1 <i>Period 1</i>	Período 2 <i>Period 2</i>	Período 1 <i>Period 1</i>	Período 2 <i>Period 2</i>
c_2 (h ⁻¹)	0,099	0,082	0,060	0,063
p_2 (h ⁻¹)	0,154	0,295	0,189	0,223
s_{gr} (h ⁻¹)	0,043	0,048	0,035	0,036
DEG(B ₂) ± s	0,73 ± 0,01	0,74 ± 0,02	0,68 ± 0,01	0,69 ± 0,01
RR ± s	23,1 ± 0,3	24,5 ± 1,2	30,1 ± 0,3	29,2 ± 0,8
RR(U) ± s	10,1 ± 0,3	8,8 ± 0,9	9,6 ± 0,7	9,3 ± 0,6
RR(I) ± s	13,0 ± 0,3	15,7 ± 1,5	20,5 ± 0,9	19,9 ± 1,3
RR(I)/RR(U)	1,3	1,8	2,1	2,1

RR, efeito de repleção ruminal (h); RR(U), efeito de repleção ruminal da fração potencialmente degradável; RR(I), efeito de repleção ruminal da fração indegradável; e DEG(B₂), degradabilidade ruminal da fração B₂; as estimativas médias provêm de quatro repetições na estação chuvosa e três na estação seca.

RR, rumen fill effect (h); RR(U), rumen fill effect of the potentially degradable fraction; RR(I), rumen fill effect of the undegradable fraction; DEG (B₂), ruminal degradability of fraction B₂; the mean estimates comes from four replicates during the rainy season and three replications during the dry season.

nismos sobre a fração B₂ (Tabela 3) foi compatível com as taxas de degradação de primeira ordem dos compostos nitrogenados presentes na parede celular vegetal (0,0571 h⁻¹ e 0,0339 h⁻¹), recuperados na fibra em detergente neutro, em ambas as estações (VIEIRA et al., 2000a). Além disso, as estimativas deste parâmetro foram mais precisas que aquelas obtidas para os parâmetros c_2 e p_2 (Tabela 2). MALAFAIA et al. (1999) encontraram duas taxas de crescimento específico dos microrganismos ruminais sobre a fração potencialmente degradável da FDN, o que permite ilustrar a natureza heterogênea deste nutriente (BEUVINK e KOGUT, 1993). Esta diferença se deve ao ajuste de modelos logísticos a perfis de produção cumulativa de gases, que, de modo geral, apresentam maior número de observações que no método gravimétrico. Entretanto, para aplicação do sistema *Cornell*, pressupõe-se que a fração B₂ seja homogênea e, conseqüentemente, apresente apenas uma única taxa de crescimento específico (RUSSELL et al., 1992).

Conforme discutido por VIEIRA et al. (2000a,b), o uso de suplementos protéicos de lenta degradação ruminal favoreceria a maior conservação do N consumido pelos animais; este aspecto pode ser endossado pelo fato de a principal contribuição energética ser originária da fração B₂ dos CT, cuja característica é a lenta degradação em nível de rúmen. Tal situação propiciaria sincronização ideal entre a disponibilidade de nitrogênio e a quantidade de energia necessárias

para o crescimento microbiano, sob condições dietéticas que se assemelhem às do presente estudo.

O efeito de repleção ruminal é importante medida mecanicista utilizada para avaliar o efeito da FDN e suas frações sobre a retenção da digesta no rúmen (VAN SOEST, 1994; VIEIRA et al., 1997b). O valor médio de RR(I) foi, aproximadamente, 50% maior que RR(U) durante a estação chuvosa, passando a exercer efeito 110% maior durante a estação seca. Estes valores foram calculados a partir dos dados médios apresentados na Tabela 3. Reduções significativas no consumo e no coeficiente de digestibilidade da matéria seca das gramíneas tropicais podem ocorrer com o avanço em seu estágio de maturação (SILVA e GOMIDE, 1967; GRANT et al., 1974); entre elas, o capim-gordura representou a maior proporção de matéria seca forrageira disponível na área experimental (DIOGO, 1995).

O emprego de mensurações mecanicistas, como o efeito de repleção ruminal total e parcial (VIEIRA et al., 1997b), pode resultar na obtenção de melhor entendimento do papel que determinados nutrientes exercem, bem como fazer uso de tais interpretações para reestruturar conceitos anteriores. Além disso, podem ser estimadas outras variáveis quantitativas importantes nos alimentos, como a disponibilidade energética e a disponibilidade intestinal de proteína metabolizável (VIEIRA et al. 2000b), o que permitiria a predição do desempenho animal a partir de condições dietéticas conhecidas.

Conclusões

As frações A e B₁ representam menos de 15% dos carboidratos totais presentes nas amostras de pasto colhido pelos animais, em ambas as estações do ano. Os carboidratos estruturais são os principais responsáveis pelo aumento no teor de carboidratos totais da estação chuvosa para a estação seca. O aumento da fração C, que ocorre em detrimento da fração B₂, acarreta maior efeito de repleção ruminal e diminuição da disponibilidade energética, por sua característica de indigeribilidade ao longo do trato gastrointestinal.

Agradecimento

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelas bolsas de estudo e pelo suporte financeiro ao projeto.

Referências Bibliográficas

AGRICULTURAL AND FOOD RESEARCH COUNCIL - AFRC. 1993. *Energy and Protein Requirements of Ruminants*. Cambridge: CAB International. 159p.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS - AOAC. 1990. *Official Methods of Analysis*. 15.ed. Arlington. 1117p.

BEUVINK, J.M.W., KOGUT, J. 1993. Modeling gas production kinetics of grass silages incubated with buffered rumen fluid. *J. Anim. Sci.*, 71(5):1041-1046.

BROCK, T.D., MADIGAN, M.T., MARTINKO, J.M. et al. 1994. *Biology of Microorganisms*. 7.ed. Englewood Cliffs: Prentice-Hall International. 909p.

CHURCH, D.C. 1988. The classification and importance of ruminant animals. In: CHURCH, D.C. (Ed.) *The ruminant animal: digestive physiology and nutrition*. Englewood Cliffs: Prentice Hall. p.1-13.

DERIAZ, R.E. 1961. Routine analysis of carbohydrates and lignin in herbage. *J. Sci. Food Agric.*, 12(2):152-160.

DIOGO, J.M.S. *Composição botânica e valor nutritivo da dieta selecionada por novilhos em pastagem natural de Viçosa-MG*. Viçosa, MG: UFV, 1995. 108p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, 1995.

GONZÁLEZ, D., RUIZ, M.E., ROMERO, F. et al. 1990. Recomendaciones sobre la utilización de los métodos in vitro, in situ y enzimático en el estudio de la digestión de alimentos. In: RUIZ, M.E., RUIZ, A. (Eds.) *Nutrición de rumiantes: guía metodológica de investigación*. San José: IICA-RISPAL. p.127-139.

GRANT, R.J., VAN SOEST, P.J., McDOWELL, R.E. et al. 1974. Intake, digestibility and metabolic loss of napier grass by cattle and buffaloes when fed wilted, chopped and whole. *J. Anim. Sci.*, 39(2):423-434.

HOFMANN, R.R. 1988. Anatomy of the gastro-intestinal tract. In: CHURCH, D.C. (Ed.) *The ruminant animal: digestive physiology and nutrition*. Englewood Cliffs: Prentice Hall. p.14-43.

LIMA, J.A., NASCIMENTO JR., D., PEREIRA, J.C. et al. 1998. Seletividade por bovinos em pastagem natural. 1. Composição botânica. *R. Bras. Zootec.*, 27(3):434-443.

MALAFAIA, P.A.M., VIEIRA, R.A.M., SILVA, D.O. et al. 1997. *In vitro* degradation of coast-cross (*Cynodon dactylon*) by rumen microorganisms associated with *Saccharomyces cerevisiae* or *humicola* sp. *R. Microb.*, 28:261-267.

MALAFAIA, P.A.M., VALADARES FILHO, S.C., VIEIRA, R.A.M. 1999. Kinetic parameters of ruminal degradation estimated with a non-automated system to measure gas production. *Lvstck. Prod. Sci.*, 58:65-73.

MERTENS, D.R. 1993a. Rate and extent of digestion. In: FORBES, J.M., FRANCE, J. (Eds.) *Quantitative aspects of ruminant digestion and metabolism*. Cambridge: CAB International. p.13-51.

MERTENS, D.R. 1993b. Kinetics of cell wall digestion and passage in ruminants. In: JUNG, H.G., BUXTON, D.R., HATFIELD, R.D. et al. (Eds.) *Forage cell wall structure and digestibility*. Madison: American Society of Agronomy. p.535-570.

MINSON, D.J., STOBBS, T.H., HEGARTY, M.P. et al. 1976. Measuring the nutritive value of pasture plants In: SHAW, N.H., BRYAN, W.W. (Eds.) *Tropical pasture research. Principles and methods*. Hurley: CAB International. p.308-337.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. 1989. *Nutrients requirements of dairy cattle*. 6.ed. Washington, DC: National Academy Press. 157p.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. 1996. *Nutrients requirements of beef cattle*. 7.ed. Washington, DC: National Academy Press. 242p.

RUSSELL, J.B., O'CONNOR, J.D., FOX, D.G. et al. 1992. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: I. Ruminant fermentation. *J. Anim. Sci.*, 70(12):3551-3561.

SCHOFIELD, P., PELL, A.N. 1995. Measurement and kinetic analysis of the neutral detergent-soluble carbohydrate fraction of legumes and grasses. *J. Anim. Sci.*, 73(12):3455-3463.

SILVA, J.F.C., GOMIDE, J.A. 1967. Efeito do estágio de maturação sobre o consumo e digestibilidade aparente da matéria seca de três gramíneas tropicais. *R. Ceres*, 13(76):255-275.

SNIFFEN, C.J., O'CONNOR, J.D., VAN SOEST, P.J. et al. 1992. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability. *J. Anim. Sci.*, 70(12):3562-3577.

THOMAS, T.A. 1977. An automated procedure for the determination of soluble carbohydrates in herbage. *J. Sci. Food Agric.*, 28(3):639-642.

VAN MILGEN, J., MURPHY, M.R., BERGER, L.L. 1991. A compartmental model to analyze ruminal digestion. *J. Dairy Sci.*, 74(9):2515-2529.

VAN SOEST, P.J., ROBERTSON, J.B., LEWIS, B.A. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.*, 74(10):3583-3597.

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

VIEIRA, R.A.M. *Modelos matemáticos para estimativa de parâmetros da cinética de degradação do capim-elefante (Pennisetum purpureum, Schum., cv. mineiro) em diferentes*

- idades de corte*. Viçosa, MG: UFV, 1995. 88p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 1995.
- VIEIRA, R.A.M., PEREIRA, J.C., MALAFAIA, P.A.M. et al. 1997a. Application of non-linear models in the description of in situ degradation profiles of the elephant-grass (*Pennisetum purpureum*, Schum.). *Anim. Feed Sci. Technol.*, 66:197-210.
- VIEIRA, R.A.M., PEREIRA, J.C., MALAFAIA, P.A.M. et al. 1997b. The influence of elephant-grass (*Pennisetum purpureum* Schum., Mineiro variety) growth on the nutrient kinetics in the rumen. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 67:151-161.
- VIEIRA, R.A.M. *Simulação da dinâmica de nutrientes no trato gastrointestinal: aplicação e validação de um modelo matemático para bovinos a pasto*. Viçosa, MG: UFV, 1998. 91p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, 1998.
- VIEIRA, R.A.M., PEREIRA, J.C., MALAFAIA, P.A.M. et al. 2000a. Fracionamento e cinética de degradação *in vitro* dos compostos nitrogenados da extrusa de bovinos a pasto. *Rev. bras. zootec.*, 29(3):880-888.
- VIEIRA, R.A.M., PEREIRA, J.C., MALAFAIA, P.A.M. et al. 2000b. Simulação da dinâmica de nutrientes no trato gastrointestinal: aplicação e validação de um modelo matemático para bovinos a pasto. *Rev. bras. zootec.*, 29(3):898-909.

Recebido em: 09/09/98

Aceito em: 25/10/99