

BEVALDO MARTINS PACHECO

**DINÂMICA RUMINAL DE NUTRIENTES POR BOVINOS ALIMENTADOS  
COM *Brachiaria brizantha* (Hochst) Stapf. E SUPLEMENTOS  
CONTENDO DIFERENTES NÍVEIS DE PROTEÍNA  
NÃO-DEGRADÁVEL NO RÚMEN**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2002

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e  
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

P116d  
2002

Pacheco, Bevaldo Martins, 1958-

Dinâmica ruminal de nutrientes por bovinos alimentados com *Brachiaria brizantha* ( Hochst ) Stapf. e suplementos contendo diferentes níveis de proteína não-degradável no rúmen / Bevaldo Martins Pacheco. – Viçosa : UFV, 2002. 112p. : il.

Orientador: José Carlos Pereira

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Viçosa

1. Bovino - Nutrição. 2. Capim-braquiaria na nutrição de bovinos. 3. Bovino - Cinética de degradação. 4. Bovino - Cinética de passagem. 5. Suplementos dietéticos. 6. *Brachiaria brizantha*. I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 19.ed. 636.20852

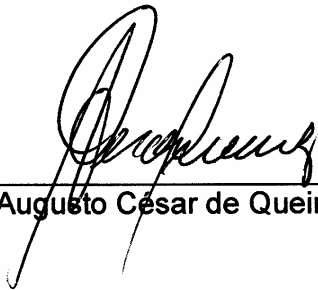
CDD 20.ed. 636.20852

BEVALDO MARTINS PACHECO

**DINÂMICA RUMINAL DE NUTRIENTES POR BOVINOS ALIMENTADOS  
COM *Brachiaria brizantha* (Hochst) Stapf. E SUPLEMENTOS  
CONTENDO DIFERENTES NÍVEIS DE PROTEÍNA  
NÃO-DEGRADÁVEL NO RÚMEN**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

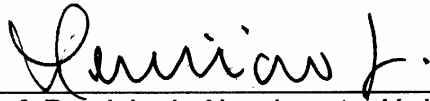
APROVADA: 25 de outubro de 2002.




Prof. Augusto César de Queiroz



Prof. Paulo Roberto Cecon



Prof. Domicio do Nascimento Júnior  
(Conselheiro)



Prof. Ricardo Augusto M. Vieira  
(Conselheiro)



Prof. José Carlos Pereira  
(Orientador)

A Deus, pela presença constante em minha vida.

À minha esposa, Luciane, e ao meu filho, Diego,  
pilares da minha alegria, fé e sucesso, pelo carinho  
e pela compreensão nas horas distantes, dirigidas ao  
trabalho e à pesquisa agropecuária.

*“Os animais domésticos, para a Zootecnia, são máquinas, não no sentido figurado da palavra, mas na sua aceção mais rigorosa, tal como a admitem a mecânica e a indústria.*

*(...)*

*Os animais comem: são máquinas que consomem, que queimam certa quantidade de combustível, de certa espécie. Eles movem-se: são máquinas em movimento obedecendo às Leis da Mecânica. Produzem leite, carne, força: são máquinas fornecendo um rendimento, por uma determinada despesa.*

*(...)*

*... Todas suas partes têm função certa, conservam entre elas certas relações, e funcionam em virtude de determinadas Leis, para produzirem trabalho útil.*

*(...)*

*A atividade dessas máquinas constitui sua própria vida, que a fisiologia resume em quatro grandes funções: nutrição, reprodução, sensibilidade e locomoção. Esse funcionamento, que caracteriza a vida, é também a condição de nossa exploração zootécnica, a causa de despesas e de rendimentos, que devemos balancear de maneira a atenuar os preços de custo, para aumentar os lucros.*

*(...)*

*... Quanto melhor conhecermos a construção dessas máquinas, as Leis de seu funcionamento, suas exigências e seus recursos, melhor poderemos entregá-las com segurança e vantagem na sua exploração.”*

**Emile Baudement (Paris, 1862)**

(op. citada por Octávio Domingues, 1968)

## **AGRADECIMENTO**

Aos meus pais, José (*in memoriam*) e Luiza, ao tio Pedro e aos meus irmãos e sobrinhos, pelo inestimável apoio em todos os momentos de minha vida acadêmica.

Aos meus sogros, Antônio e Maria, e família, pelo convívio saudável que sempre desfrutei em seu lar.

À Universidade Federal de Viçosa (UFV), de modo especial ao Departamento de Zootecnia, pela oportunidade de crescer profissionalmente.

Ao Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER), através de todo o seu corpo diretivo, pela confiança depositada em nosso trabalho.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), pela concessão de bolsa de estudo.

Ao Instituto Melon de Estudos e Pesquisas e à Fazenda Barreiro Ltda., pelo suporte financeiro e logístico à condução deste trabalho, de modo especial ao Ernani José de Paula, Alecssandro Regal Dutra, Francisco de Assis Xavier Nunes e Edward Tolentino Fernandes.

Ao professor José Carlos Pereira, pela valiosa orientação e confiança, pelo exemplo de profissionalismo, pela dedicação e paciência, bem como pelo privilégio de ter sido seu aluno, os quais foram importantes para que eu pudesse modelar meu pensamento, cientificamente, e desenvolver com tranqüilidade este trabalho.

Ao professor Domicio do Nascimento Júnior, pelo valioso aconselhamento, pelos ensinamentos, pela amizade e pelas sugestões apresentadas para aprimorar este trabalho, e, acima de tudo, pelo direcionamento em minha formação profissional.

Ao professor Ricardo Augusto Mendonça Vieira, um dos grandes companheiros capitalizados nesta jornada, pela inestimável co-orientação. Sua inteligência privilegiada, seu compromisso, sua compreensão e sua paciência foram imprescindíveis à realização deste trabalho.

Ao professor Paulo Roberto Cecon, do Departamento de Informática da UFV, pelas sugestões apresentadas ao trabalho, pelos conhecimentos por ele ministrados nos cursos de estatística, que muito contribuíram para minha formação acadêmica e, sobretudo, pela amizade cativada.

Ao professor Augusto César de Queiroz, pelas valiosas sugestões, que foram extremamente oportunas para aprimorar este trabalho.

À professora Maria Ignez Leão, pelo procedimento cirúrgico nos animais.

Aos demais professores do Departamento de Zootecnia, pelos ensinamentos e pelo grato convívio.

Aos companheiros de pesquisa da equipe de Zootecnia da INCAPER, da qual tenho a honra de participar, José Arnaldo de Alencar e João Anselmo Molino, pelo exemplo profissional e pela presteza.

Ao pesquisador Sammy Fernandes Soares, conselheiro acadêmico do INCAPER, pela colaboração, pelo apoio e pela amizade.

Aos funcionários da Fazenda Barreiro Ltda., Sérgio, Elisvaldo, Divino, Félix, Aroldo, José Hílton, Cleiton, Cristiano, Felipe, Júnior, pelo esforço em me ajudar durante a realização dos trabalhos de campo e pelos agradáveis momentos compartilhados.

À Aparecida Conceição Rocha Félix, pela ajuda e colaboração, amizade e pelo exemplo de profissionalismo no Laboratório de Nutrição Animal da Fazenda Barreiro Ltda.

Ao Ricardo Vieira, Aroldo, José Hílton, Cleiton e famílias, pela prazerosa convivência, pela amizade e pelo apoio, os quais constituíram a extensão de minha família na Fazenda Barreiro Ltda.

Ao Sérgio e Lúcio, pela presteza e ajuda na mistura das rações experimentais, na Fazenda Barreiro Ltda.

Ao Vicente, pelos bate-papos descontraídos.

Ao Osvaldo e à Aneilde, pela presteza e pela preocupação constante com os estagiários na Fazenda Barreiro Ltda.

Ao José Gomes, Cláudio, Elias e famílias, pelo convívio salutar.

Aos amiguinhos “goianos”, Kaique, Karolinny, William, Juliana, Regina e Eduardo, pelas horas agradáveis desfrutadas ao lado dessas criaturas maravilhosas.

A todos os funcionários da Fazenda Barreiro que colaboraram para a execução deste trabalho.

Aos zootecnistas Marinaldo Divino Ribeiro e Douglas Sampaio Henrique, pela inestimável ajuda, pelo companheirismo e senso profissional.

À Celeste, Márcia, Vera, Rosana, Mário, Adílson, Raimundo, Cláudio, Venâncio, Fernando, Monteiro, Wellington, Valdir e demais funcionários do Departamento de Zootecnia da UFV, pela atenção e disposição constante em ajudar.

Aos colegas Fernando Londoño, Francisco Rennó, Margarida, Luciana Rennó, Miguel, Marco Antônio, Almir, Emérsom, Américo, Paulo Carneiro, Antônio Policarpo, Aldrin, Rodrigo, Alberto, Sérgio Carvalho, Fabiano, Alfredo, Luciano Cabral, Edênio, Cláudio Samara, Jéferson, Vicente, Joanis, André, José Antônio, Fernando Leonel, Ademar e Ronaldo, pela agradável convivência.

Aos colegas pesquisadores da EMBRAPA, Gado de Leite, Antônio Cóser, Carlos Eugênio, Luiz Aroeira, Fermino Deresz, Jackson Oliveira e Leovegildo Matos, pelo apoio constante, pela amizade, pela atenção e, sobretudo, pelas discussões proveitosas sobre a Pesquisa Agropecuária.

Ao pesquisador da Agência Rural, Estado de Goiás, Leandro Oliveira e Silva, pelo apoio no levantamento dos dados meteorológicos, pela atenção e pela amizade.

À Joana D’arc, pela oportunidade de lecionar a disciplina Estatística e Informática II, na Universidade Estadual de Goiás, na cidade de Anápolis, GO.



À Eliane Ventura da Silva, pela revisão lingüística e ao Paulo Afonso da Silva, pela formatação e encaminhamento final da tese.

Aos colegas de futebol de finais de semana da Violeira, pelos momentos de descontração e amizade.

À cachorrinha Thuba, pelos passa-tempos alegres e divertidos.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização desta tese.

## **BIOGRAFIA**

BEVALDO MARTINS PACHECO, filho de José Martins Pacheco e Luiza Zócolo Martins, nasceu em Ubá, Estado de Minas Gerais, em 28 de fevereiro de 1958.

De 21 de março de 1974 a 31 de dezembro de 1975, atuou como bolsista, na Carteira Agrícola do Banco do Brasil S.A., na cidade de Ubá, Estado de Minas Gerais.

Em 1978, ingressou na Universidade Federal de Viçosa (UFV), onde, em julho de 1982, diplomou-se em Zootecnia.

Em março de 1983, iniciou o curso de Mestrado em Zootecnia na Universidade Federal de Viçosa, desenvolvendo seus estudos na área de Forragicultura e Pastagens, submetendo-se à defesa de tese em 4 de novembro de 1985.

Em 16 de setembro de 1985, foi convidado a estagiar como bolsista na Empresa Capixaba de Pesquisa Agropecuária (EMCAPA), para atuar na área de Nutrição Animal, permanecendo nesta função até 1º de janeiro de 1986.

Em 2 de janeiro de 1986, foi contratado como pesquisador pela Empresa Capixaba de Pesquisa Agropecuária (EMCAPA), atualmente Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER), no Estado do Espírito Santo, onde se encontra até os dias de hoje.

Em outubro de 1998, iniciou o Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, em nível de Doutorado, na Universidade Federal de Viçosa, concentrando seus estudos na área de Nutrição e Produção de Ruminantes, defendendo tese em 25 de outubro de 2002.

De agosto de 2001 a julho de 2002, foi admitido como professor da disciplina Estatística e Informática II, na Universidade Estadual de Goiás, na cidade de Anápolis, Estado de Goiás.

## CONTEÚDO

	<b>Página</b>
RESUMO .....	xii
ABSTRACT.....	xiv
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	3
2.1. Capim-brizanta .....	3
2.2. Composição química da forragem e sua degradação .....	5
2.2.1. Fibra da forragem .....	5
2.2.2. Fração protéica .....	6
2.3. Suplementação da forragem.....	7
2.4. Cinética de degradação.....	12
2.4.1. Técnica do saco de náilon .....	12
2.4.2. Degradação do volumoso .....	13
2.5. Cinética de passagem .....	15
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	23
Cinética de Degradação Ruminal por Bovinos Alimentados com <i>Brachiaria brizantha</i> (Hochst) Stapf. e Suplementos Contendo Diferentes Níveis de Proteína Não-Degradável no Rúmen .....	31
Resumo .....	31
Abstract .....	32
Introdução .....	33

	<b>Página</b>
Material e Métodos .....	35
Resultados e Discussão .....	44
Conclusões .....	68
Literatura Citada .....	69
Cinética de Passagem de Partículas e de Fluidos por Bovinos Alimentados com <i>Brachiaria brizantha</i> (Hochst.) Stapf. e Suplementos Contendo Diferentes Níveis de Proteína Não-Degradável no Rúmen .....	74
Resumo .....	74
Abstract .....	75
Introdução .....	76
Material e Métodos .....	78
Resultados e Discussão .....	83
Conclusões .....	96
Literatura Citada .....	96
3. RESUMO E CONCLUSÕES .....	101
APÊNDICE .....	104

## RESUMO

PACHECO, Bevaldo Martins, D.S., Universidade Federal de Viçosa, outubro de 2002. **Dinâmica ruminal de nutrientes por bovinos alimentados com *Brachiaria brizantha* (Hochst) Stapf. e suplementos contendo diferentes níveis de proteína não-degradável no rúmen.** Orientador: José Carlos Pereira. Conselheiros: Domicio do Nascimento Júnior e Ricardo Augusto Mendonça Vieira.

Este trabalho foi realizado no Instituto Barreiro de Biotecnologia (IBB), sediado na Fazenda Barreiro Ltda., município de Silvânia, Estado de Goiás, para avaliar os efeitos de suplementos com diferentes níveis de proteína não-degradável no rúmen (PNDR) sobre os parâmetros da cinética de degradação *in situ* da fibra em detergente neutro (FDN), dos carboidratos fibrosos (CF) e da proteína insolúvel em detergente neutro (PIDN), assim como da cinética de passagem de partículas por bovinos mantidos em pastagem de *Brachiaria brizantha*. As amostragens foram feitas em duas épocas do ano (época 1 – maio, junho e julho/2000 e época 2 – março, abril e maio/2001). A cinética de passagem de fluidos foi realizada em três períodos, de agosto a setembro/2001, permanecendo os animais (três por tratamento e por período) na pastagem, recebendo os tratamentos da época 2. Em ambas as épocas foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado, com três novilhos mestiços fistulados no esôfago e no rúmen, por tratamento e por período. Na época 1 os animais foram alojados em

baías individuais e alimentados com suplementos com 20, 40 e 60% de PNDR e feno de *Brachiaria brizantha* e mistura mineral *ad libitum*, enquanto na época 2 foram distribuídos nos tratamentos: T<sub>0</sub> = pasto de capim-brizanta + mistura mineral *ad libitum* (PM); T<sub>40</sub> = PM + suplemento com 40% de PNDR; e T<sub>60</sub> = PM + suplemento com 60% de PNDR. Os perfis de degradação da FDN, dos CF e da PIDN obtidos foram interpretados cineticamente, utilizando o modelo logístico decrescente, e as estimativas dos parâmetros da cinética de passagem de partículas foram determinadas a partir do ajuste dos dados a diferentes modelos bicompartimentais (G1G1, G2G1, G3G1, G4G1, G5G1 e G6G1). As comparações dos modelos foram feitas por meio da frequência observada dos valores mínimos para o quadrado médio residual obtido com os ajustes dos modelos e o número de corridas de sinal dos resíduos padronizados. A fibra em detergente neutro indigerível (FDN<sub>i</sub>) correspondeu a cerca de 21 a 40% e de 16 a 35% da FDN nas amostras de pasto, nas épocas 1 e 2, respectivamente. O valor médio da repleção ruminal da fração indegradável, RR(I), foi 47% maior que o da fração potencialmente degradável, RR(U), durante a época 1, enquanto na época 2 foi de 32%. Os carboidratos fibrosos representaram aproximadamente 80% dos carboidratos totais presentes nas amostras de pasto colhidas pelos animais, em ambas as épocas do ano. O aumento da fração carboidrato fibroso indigerível (CF<sub>i</sub>), que ocorreu em detrimento da fração carboidrato fibroso digerível (CF<sub>d</sub>), resultou em maior efeito de repleção ruminal, o que pode levar à redução da disponibilidade energética para os microrganismos que fermentam carboidratos fibrosos e não-fibrosos e a perdas de nitrogênio, na presença de fontes protéicas de rápida degradação ruminal. O capim-brizanta apresentou proporção significativa de seu nitrogênio na forma de proteína de lenta degradação ruminal, proteína digestível insolúvel em detergente neutro (PIDN<sub>d</sub>), com média de 21 e 26% nas épocas 1 e 2, respectivamente. Os modelos G2G1 e G3G1 mostraram-se mais eficientes na determinação das estimativas dos parâmetros de cinética de passagem de partículas, nas épocas 1 e 2, respectivamente. As estimativas do tempo médio de retenção ruminal de partículas e de fluidos não foram influenciadas pelos diferentes níveis de PNDR do suplemento.

## ABSTRACT

PACHECO, Bevaldo Martins, D.S., Universidade Federal de Viçosa, October 2002. **Nutrients ruminal dynamic by steers grazing *Brachiaria brizantha* (Hochst) Stapf. and fed supplements with different levels of ruminal undegradable protein.** Adviser: José Carlos Pereira. Committee members: Domicio do Nascimento Júnior and Ricardo Augusto Mendonça Vieira.

This work was carried out in the Instituto Barreiro de Biotecnologia (IBB), in the Barreiro Ltda. farm, county of Silvânia, Goiás State, to evaluate the effect of supplements with different levels of ruminal undegradable protein (RUP) on the kinetic parameters of in situ degradation of neutral detergent fiber (NDF), fiber carbohydrates (FC) and protein insoluble in neutral detergent (PIND), as well as particles passage kinetic by steers grazing *Brachiaria brizantha* pasture. Samplings were performed in two seasons of the year (season 1 – May, June and July/2000 and season 2 – March, April and May/2001). Fluids passage kinetic was performed in three periods, from August to September/2001, where the animals (three by treatment and by period) were under grazing, receiving the treatments of season 2. In both seasons a completely randomized design, with three esophageally and ruminally fistulated crossbred steers, by treatment and by period, was used. In the season 1, the animals were housed in individual stalls and fed supplements with 20, 40 and 60% RUP and *Brachiaria brizantha* hay and minerals *ad libitum*, whereas in the season 2 they were



allotted to the treatments:  $T_0$  = Palisadegrass pasture + minerals *ad libitum* (PM);  $T_{40}$  = PM + supplement with 40% RUP; and  $T_{60}$  = PM + supplement with 60% RUP. Degradation profiles of NDF, FC and PIND were kinetically interpreted, by using the decreasing logistic model, and the estimates of particles kinetic parameters were performed from adjusting data to the different bicompartimental (G1G1, G2G1, G3G1, G4G1, G5G1 e G6G1) models. The comparison among models were made by means of the observed frequency of minimum values for the average residual square obtained with the models adjustments and the number of signal runs of standardized residues. Indigestible neutral detergent fiber (NDF<sub>i</sub>) level corresponded approximately from 21 to 40% and from 16 to 35% NDF in the pasture samples, in the seasons 1 and 2, respectively. The average value of undegradable fraction ruminal repletion, RR(I), was 47% higher than the potentially degradable fraction, RR(U), during the season 1, whereas in the season 2 was of 32%. Fiber carbohydrates were approximately 80% total carbohydrates in the pasture samples selected by the animals, in both seasons of the year. The increase of indigestible fiber carbohydrate (FC<sub>i</sub>), as the digestible fiber carbohydrate (FC<sub>d</sub>) decreased, resulted in higher ruminal repletion effect, that can leads to the reduction of energy availability for the microorganisms ferment fiber and non fiber carbohydrates and to nitrogen losses, in the presence of protein sources of fast ruminal degradation. Palisadegrass showed significant nitrogen proportion, as protein of low ruminal degradation, digestible protein insoluble in neutral detergent (PIND<sub>d</sub>), averaging 21 and 26% in the seasons 1 and 2, respectively. G2G1 e G3G1 models were more efficient to determine the estimates of particles kinetic parameters, in the seasons 1 and 2, respectively. The estimates of average ruminal repletion time of particles and fluids were not affected by the different RUP levels of the supplement.

## 1. INTRODUÇÃO

O cenário atual indica, claramente, um avanço dos sistemas de produção de leite e de carne em direção à intensificação. Neste contexto, fatores como limitação da expansão da fronteira agrícola, competição por área com outras atividades agrícolas, competição com outras carnes (preço e qualidade) e mercados (MERCOSUL), somados à estabilidade econômica, caracterizam essa nova realidade da pecuária brasileira.

A exploração plena da vocação da pecuária brasileira, especificamente da Região Centro-Oeste, depende da utilização de suas condições únicas para produção de biomassa vegetal na forma de pastagens nativas e cultivadas. O uso racional do Cerrado como pastagem está em função do entendimento das inter-relações entre o solo, as plantas e os animais para manutenção de índices de produtividade economicamente viáveis, sem prejuízos para o meio ambiente. Esta é uma condição desejável para que o sistema atinja o desenvolvimento sustentável.

Dentre as gramíneas que predominam nessa região destacam-se as do gênero *Brachiaria*, por apresentarem algumas características desejáveis, como facilidade de aquisição de sementes de boa qualidade, tolerância a solos de baixa fertilidade, rápido estabelecimento e alta competição com plantas invasoras e boa eficiência na proteção do solo contra a erosão, além de permitir serem utilizadas para diferimento.

A avaliação do desempenho animal a pasto tem contribuído na definição de estratégias de suplementação, com a finalidade de otimizar a rentabilidade da produção. No entanto, apesar de as gramíneas tropicais apresentarem elevado potencial de produção de forragem, sua digestibilidade e seu teor em proteína bruta são baixos e seu conteúdo em fibra é elevado, o que restringe o consumo e, conseqüentemente, o desempenho animal.

Sendo o consumo o fator determinante do ingresso de nutrientes para o atendimento às demandas das funções produtivas, o seu aumento é de grande importância. Assim, em muitos sistemas de produção de ruminantes, que têm como base o uso de pastagens, a suplementação é necessária para que os níveis esperados de desempenho praticados pelo mercado sejam obtidos.

O conhecimento mais acurado da taxa e extensão de degradação e da taxa de passagem é também fator fundamental para o entendimento dos mecanismos que governam o consumo, a digestão e a absorção dos nutrientes pelos animais, visto que determinam o suprimento de energia e de nitrogênio para os microrganismos do rúmen. Este conhecimento é necessário ao aprimoramento dos sistemas de exigências nutricionais para ruminantes, que se baseiam no aproveitamento dos nutrientes pelos microrganismos e nas frações que escaparam ao processo de degradação ruminal.

Há inúmeros estudos conduzidos sobre desempenho animal a pasto, mas as informações disponíveis são limitadas no que diz respeito à influência da suplementação protéica sobre a taxa de passagem e a taxa de degradação das diferentes espécies forrageiras, o que justifica esforços investigativos para determinar a relação entre os níveis de proteína não-degradável no rúmen e estas variáveis.

Diante do exposto, objetivou-se, no presente trabalho, estimar os parâmetros relativos à cinética de degradação e de passagem do pasto de *Brachiaria brizantha* suplementado com rações contendo diferentes níveis de proteína não-degradável no rúmen (PNDR), em duas épocas do ano.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Capim-brizanta

Atualmente, existem no Brasil aproximadamente 200 milhões de hectares de pastagens, devendo ser ressaltado que 100 milhões são cultivados pelo homem. Destes, cerca de 60 milhões são constituídos por espécies do gênero *Brachiaria* (Botrel et al., 1998).

Essa gramínea é conhecida no País sob o prisma da forragicultura desde a década de 50; entretanto a sua verdadeira expansão ocorreu nas décadas de 70 e 80, principalmente nas regiões de clima mais quente (Zimmer et al., 1995), e acredita-se que 85% da área cultivada na região dos Cerrados seja composta por essa gramínea (Macedo, 1995).

Segundo Gomide & Queiroz (1994), além das diferenças entre espécies, o valor nutritivo das braquiárias é determinado pela idade da planta, pelo manejo e pela adubação, principalmente a nitrogenada. Pastagens estabelecidas em solos de baixa fertilidade, sob condições normais de manejo, isto é, sem calagem e adubação, produzem forragem de baixo valor nutritivo, caracterizado pelos altos teores de constituintes da parede celular e baixos teores de proteína, cálcio e fósforo. Os coeficientes de digestibilidade da matéria seca situam-se na faixa de 550 a 600 g kg<sup>-1</sup>, proteína bruta de 28 a 100 g kg<sup>-1</sup> MS e fibra acima de 600 g kg<sup>-1</sup> MS.

Especificamente, a *Brachiaria brizantha* é proveniente da Estação Experimental de Forrageiras de Marandellas, no Zimbabwe (ex-Rodésia), na África. Foi introduzida no Brasil por volta de 1967, por iniciativa do produtor de sementes Paul Rankin Rayman e gentileza do Dr. John Clatworthy, pesquisador da referida Estação Experimental (EMBRAPA, 1984).

Foi cultivada por vários anos em Ibirarema, no Estado de São Paulo, de onde foi distribuída a várias regiões. Em 1976, foi cedida ao *Internacional Research Institute* (IRI) em Matão, São Paulo, que a incorporou à sua coleção. Em 1977, essa gramínea foi fornecida ao CNPGC – Campo Grande-MS, tendo sido incluída no processo de avaliação de forrageiras da unidade (EMBRAPA, 1984). Essa forrageira teve grande aceitação pelos produtores, devido à sua resistência à cigarrinha-das-pastagens (Zimmer & Euclides, 2000). Trata-se de uma planta perene, cespitosa, muito robusta, de 1,5 a 2,5 m de altura, com colmos iniciais prostrados, mas produzindo afilhos cada vez mais eretos ao longo do crescimento da touceira, apresentando intenso afilhamento nos nós superiores dos colmos floríferos, presença de pêlos na porção apical dos entrenós, bainhas pilosas e lâminas largas e longas, com pubescência apenas na face inferior (Valle et al., 2001).

A produção de matéria seca variou de 17 a 26 t/ha/ano, quando adubada com nitrogênio, fósforo e potássio (Silva, 1993), com teores protéicos e digestibilidade *in vitro* da matéria orgânica, variando de 58 a 101 g kg<sup>-1</sup>MS e de 521 a 619 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente (Euclides, 2001), e valor de fibra de 744 g kg<sup>-1</sup>MS (Leite & Euclides, 1994).

Estudos realizados com essa forrageira na EMBRAPA Gado de Corte e EMBRAPA Cerrados evidenciaram o seu elevado potencial na produção de carne. Assim, em Mato Grosso do Sul foram obtidos, com uma carga animal de 1,4 UA/ha, ganhos médios diários de peso da ordem de 426 g/animal. Em Planaltina-DF, com uma lotação de 2,0 UA/ha, conseguiu-se, durante as águas, um ganho médio anual de 600 g/animal/dia. Reduzindo-se a lotação pela metade, os animais mantiveram o peso durante a estação seca (Botrel et al., 1998).

O estudo das características dessa gramínea forrageira torna-se importante à medida que aumenta a sua participação na dieta dos ruminantes.

## **2.2. Composição química da forragem e sua degradação**

### **2.2.1. Fibra da forragem**

A digestão dos polissacarídeos estruturais no rúmen ocorre em duas etapas: em primeiro lugar, os substratos que chegam ao rúmen devem ser colonizados pelos microrganismos, que se aderem intimamente às estruturas vegetais; posteriormente, os microrganismos penetram pelo pequeno lúmen, aberto pela fragmentação física, promovida pela mastigação (durante a ingestão) e ruminação, exercendo assim sua atividade degradativa sobre os substratos vegetais a partir de sua ação enzimática, independentemente da possível utilização por eles mesmos dos produtos resultantes. Quantitativa e qualitativamente, a magnitude desses processos é mediada pelas características da população microbiana implicada nestes processos, pela natureza da parede celular vegetal, da possível existência de fatores antinutritivos e pelas condições de ambiente ruminal para favorecer ou limitar estes processos (Cherney et al., 1986; Wilson, 1994; Nogueira Filho, 2001).

O uso do potencial de plantas forrageiras na dieta de ruminantes é limitado pela suscetibilidade da fibra à hidrólise enzimática. A fração fibrosa normalmente compreende a maior parte da matéria seca da forragem e inclui celulose, hemicelulose e lignina (Cherney et al., 1986).

A lignificação da planta é um dos fatores que mais afeta a degradação microbiana das forragens, tanto por sua indigestibilidade *per se* como em relação às cadeias de hemicelulose (Cherney et al., 1986). O caráter hidrofóbico da lignina acentua o processo de desidratação da parede celular à medida que aumenta a idade da planta, limitando a acessibilidade e hidrólise dos polissacarídeos estruturais pelas enzimas das bactérias ruminais (Cherney et al., 1986; Nogueira Filho, 2001). Além disto, fatores ambientais também influenciam a lignificação, ou seja, quanto maior a temperatura e a luminosidade, maior será o conteúdo em lignina (Van Soest, 1994).

Os carboidratos fibrosos compreendem os polímeros que compõem a parede celular vegetal e, juntamente com a lignina, desempenham funções

de sustentação e proteção, representados basicamente pela celulose e hemicelulose, os quais são lenta e parcialmente disponíveis e ocupam espaço no trato gastrintestinal. Os carboidratos não-fibrosos, representados pelos açúcares solúveis em água (mono e dissacarídeos), amido e pectina, são rápida e completamente digeríveis no trato gastrintestinal (Hall, 2001; Mertens, 2001). O CNCPS classifica os carboidratos totais, de acordo com suas taxas de digestão, nas frações A, representada pelos açúcares solúveis, os quais são rapidamente fermentados no rúmen; B<sub>1</sub>, que corresponde ao amido, cuja taxa de degradação varia em decorrência do tipo de amido e processamento do grão e a pectina que é rapidamente fermentada no rúmen; B<sub>2</sub>, que corresponde à fibra potencialmente degradável com taxa de degradação lenta; e C, representada pela porção indigerível ao longo do trato gastrintestinal (Sniffen et al., 1992).

### **2.2.2. Fração protéica**

As exigências de proteína dos ruminantes deverão ser atendidas em termos de proteína metabolizável, ou seja, pelos aminoácidos absorvidos no intestino delgado, provenientes da proteína microbiana sintetizada no rúmen e da proteína dietética que escapa à fermentação ruminal (Broderick, 1995). A proteína microbiana sintetizada no rúmen fornece 50% ou mais dos aminoácidos disponíveis para absorção, em rações balanceadas, sendo considerada uma fonte de aminoácidos de alta qualidade (Schwab, 1996). A proteína que escapa pode ser benéfica, desde que seja utilizada eficientemente na digestão pós-ruminal (Van Soest, 1994). Desta forma, qualquer método para determinação da qualidade da proteína dos alimentos deve, necessariamente, considerar a contribuição do alimento para a síntese de proteína microbiana e para a proteína que escapa à degradação ruminal (Broderick, 1995).

A proteína dietética fornecida aos ruminantes pode ser dividida em diversas frações, em função dos sistemas utilizados na determinação das exigências nutricionais. De acordo com Van Soest (1994), o importante é considerar que sempre existe uma fração que é degradada rapidamente no rúmen (compostos nitrogenados não-protéicos), outra que é potencialmente

degradada (proteínas verdadeiras) e uma que é indisponível (nitrogênio insolúvel em detergente ácido).

A proteína bruta dos alimentos foi classificada pelo CNCPS em componente A, constituída por compostos nitrogenados não-protéicos (NNP); em fração de proteínas solúveis de rápida degradação no rúmen ( $B_1$ ); em fração de proteínas insolúveis com taxa de degradação intermediária ( $B_2$ ) e lenta ( $B_3$ ); e em fração C, que consiste de proteínas insolúveis em detergente ácido e não-digeríveis no rúmen e intestino (Sniffen et al., 1992). Portanto, torna-se importante a determinação acurada destas frações, bem como de suas taxas de digestão, para que se consiga, com a utilização de dietas adequadamente formuladas, maximizar a eficiência de utilização do N tanto pelos microrganismos, quanto pelo próprio animal, o que reduz as perdas energéticas e nitrogenadas decorrentes da fermentação ruminal (Cabral, 1999).

FORAGEMS frescas contêm até metade da proteína verdadeira na forma solúvel em água, a qual é degradada rapidamente no rúmen. Nestas circunstâncias, o escape de compostos nitrogenados varia de 10 a 30% da quantidade total. Vale ressaltar que entre 5 e 15% do nitrogênio da forragem está ligado à lignina, totalmente indigestível, e a proteína não-degradada no rúmen (PNDR) que ficou disponível para o animal pode variar de 0 a 25% do nitrogênio, em forragens frescas (Van Soest, 1994). Portanto, verifica-se que em programas de suplementação da forragem é de fundamental importância o conhecimento das características das diversas frações dos alimentos e de seu aproveitamento pelos animais que os recebem.

### **2.3. Suplementação da forragem**

Considerando os sistemas de produção onde se buscam índices elevados de eficiência, pode-se afirmar que as forrageiras tropicais somente em situações particulares, e por pouco tempo, mesmo durante o verão, são capazes de possibilitar que os animais expressem o seu potencial genético. A adubação e o manejo corretos dessas pastagens têm proporcionado sensíveis melhorias nos índices de produtividade, porém essas estratégias não são suficientes para resolver o problema de alimentação dos animais na



estação seca (Euclides, 2001). No entanto, Van Soest (1994) e Poppi & McLennan (1995) verificaram que o aumento do teor de proteína do pasto, em função da adubação nitrogenada, não implicava, necessariamente, maior suprimento de aminoácidos para o intestino delgado e que a síntese de compostos nitrogenados pelos microrganismos era limitada pela disponibilidade de energia. Assim, em situações de maior degradabilidade ruminal de compostos nitrogenados, o aumento da disponibilidade de energia resulta em uma condição mais favorável ao crescimento microbiano e minimização de perdas de nitrogênio (Russel et al., 1992; Poppi & McLennan, 1995).

Entre as alternativas existentes para melhoria dos índices produtivos do sistema de produção, a suplementação do pasto constitui opção para o suprimento de nutrientes limitantes e aumento da eficiência de utilização das pastagens (Poppi & McLennan, 1995). Vale ressaltar que esta prática de alimentação não é recente no Brasil, uma vez que há relato de trabalho conduzido com bezerros, na década de 60 (Quinn et al., 1966). Segundo Paterson et al. (1994) e Lusby et al. (2002), quando se formula um suplemento, alguns aspectos devem ser considerados:

- a) as exigências do animal e dos microrganismos ruminais;
- b) o teor de nutrientes da forragem, em termos de proteína degradável (PDR) e proteína não-degradável no rúmen (PNDR) e de energia disponível;
- c) o consumo de forragem; e
- d) as interações entre a forragem e o suplemento.

Noller et al. (1997) relataram que o consumo de energia e proteína deve ser balanceado para otimizar a fermentação e maximizar a produção de proteína microbiana. O consumo excessivo de proteína sem uma quantidade adequada de energia resulta em perdas de nitrogênio. Sob condições de pastejo, a primeira consideração a ser feita seria atender às necessidades de nitrogênio dos microrganismos ruminais para assegurar o consumo e a digestão da forragem. A energia adicional deve ser usada com gramíneas de média a alta qualidade se esta for uma medida econômica. Quando os animais consomem forragens de baixa qualidade, como pastagem em estágio avançado de maturidade, o conteúdo de proteína pode ser extremamente baixo (menores que 30-50 g kg<sup>-1</sup>MS) e não atender às

exigências do animal, limitando o suprimento de proteína degradada no rúmen para o crescimento microbiano adequado (Dove, 1996), conseqüentemente a taxa de fermentação e a taxa de passagem da digesta através do trato gastrointestinal e o consumo de nutrientes são afetados de forma negativa (Ellis, 1978; McCollum & Galyean, 1985; Guthrie & Wagner, 1988; Minson, 1990). Nestas situações, a suplementação com PDR poderia corrigir este déficit, resultando assim em aumento de consumo da forragem e, portanto, no desempenho animal. Por outro lado, quando a disponibilidade de forragem é limitada, a suplementação energética tende a ser benéfica (Noller et al., 1997).

Poppi & McLennan (1995), estudando o efeito de diversos tipos de suplementos protéicos sobre a produção animal, constataram que as melhores respostas foram obtidas onde havia alta disponibilidade de forragem de baixa qualidade.

A deficiência energética, quando comparada à deficiência protéica, pode ser mais limitante para a produção animal durante o período seco. Contudo, é difícil dissociar completamente estas duas deficiências, uma vez que a deficiência protéica tem efeito negativo sobre a digestibilidade de nutrientes e o consumo de energia. Bisschoff et al. (1967), citados por Euclides et al. (1998), mostraram que o efeito da suplementação protéica é pequeno quando comparado a uma suplementação que forneça relativamente mais energia que proteína.

Os ruminantes sob pastejo utilizam a proteína microbiana como principal fonte de proteína. Os microrganismos ruminais utilizam o nitrogênio não-protéico (NNP) ou a proteína degradável no rúmen (PDR) como fonte de nitrogênio, a partir dos quais sintetizam proteína para atender às suas próprias exigências. Os microrganismos passam então para o trato gastrointestinal inferior e no intestino, onde serão prontamente digeridos (Parson & Allison, 1991, citados por Cardoso, 1997).

A baixa eficiência de síntese de proteína microbiana é relatada em forragens que contêm menos de 100 g PB kg<sup>-1</sup>MS, possivelmente devido à deficiência de aminoácidos, de amônia e de energia para os microrganismos do rúmen. Para que ocorra otimização da síntese microbiana, a dieta deverá conter no mínimo 170 g PB degradável para cada kg de matéria orgânica

degradada no rúmen (Minson, 1990). Dietas com  $500 \text{ g kg}^{-1}$  de digestibilidade da matéria seca são deficientes se o conteúdo de nitrogênio estiver abaixo de  $10 \text{ g kg}^{-1}$  MS, e se a digestibilidade é de  $400 \text{ g kg}^{-1}$  o nível crítico de nitrogênio será de  $8 \text{ g kg}^{-1}$ MS (Hunter, 1991, citado por Reis et al., 1997). Então, um dos elementos-chave na eficiência de conversão da forragem em produto animal é a sincronização entre o suprimento de amônia no rúmen, oriunda da PDR do pasto, e o fornecimento de substratos produtores de energia, provenientes dos carboidratos da forragem (Dove, 1996).

Todavia, animais com maiores requerimentos (crescimento, lactação e final de gestação) necessitam de uma quantidade adicional de proteína dietética não-degradável no rúmen (PNDR). Desta forma, torna-se extremamente importante a otimização da produção de proteína microbiana (responde por cerca de 50-80% dos compostos nitrogenados que alcançam o intestino) para que a utilização de PNDR possa ser minimizada, que geralmente é mais cara. Portanto, para atingir esta otimização deve-se fornecer nitrogênio degradável, certa quantidade de aminoácidos pré-formados e matéria orgânica como fonte de energia (Rezende et al., 1996).

O suprimento de aminoácidos depende do conteúdo de proteína de dieta, da sua transferência líquida do rúmen para o intestino como proteína não-degradada da forragem e proteína microbiana e de sua absorção no intestino delgado. A deposição de proteína depende da eficiência de utilização da proteína absorvida, que é dependente de substratos produtores de energia e aminoácidos essenciais limitantes (Poppi & McLennan, 1995). De acordo com os autores, a transferência líquida de proteína do alimento para o intestino não é completa, e no caso de gramíneas e leguminosas forrageiras podem ocorrer perdas quando o conteúdo de proteína bruta excede  $210 \text{ g kg}^{-1}$  de matéria orgânica digestível. No entanto, essas perdas podem ser reduzidas, via aumento da disponibilidade de energia para o rúmen, tanto indiretamente na melhoria da digestibilidade da forragem, como diretamente pelo fornecimento de suplementos energéticos. Assim, estratégias para aumentar o escape de proteína também seriam bem-sucedidas.

As fontes protéicas de baixa degradabilidade ruminal são importantes quando a disponibilidade de forragem é alta, mas com baixo teor em

proteína bruta (menor que 70 g kg<sup>-1</sup>MS). Da mesma forma, quando os animais estão com deficiência energética, devido à falta de forragem ou porque a exigência excede o nível de consumo de energia, o uso de proteína de baixa degradabilidade surge como opção para maiores ganhos de peso em condições de pastejo (Poppi & McLennan, 1995). Portanto, verifica-se que em programas de suplementação de pasto é de fundamental importância o conhecimento das características das diversas frações dos alimentos e de seu aproveitamento pelos animais que os recebem.

Avaliando vários níveis de fornecimento de PNDR em substituição à suplementação energética para bovinos em pastagens na estação chuvosa, Karges et al. (1992) verificaram ganhos adicionais de peso com a utilização de fontes protéicas de baixa degradabilidade ruminal, o que indica que a síntese de proteína microbiana pode não ter sido suficiente para atender às exigências de proteína metabolizável, limitando, desta forma, o ganho de peso dos animais. Ainda segundo os autores, a resposta à suplementação com PNDR é apenas provável, após o atendimento dos requerimentos de proteína degradada aos microrganismos ruminais.

Os efeitos benéficos da PDR são evidentes nos trabalhos de Freer et al. (1985, 1988), citados por Dove (1996). Nesses estudos, o fornecimento de até 400 g/dia de grão de aveia + farelo de girassol acarretou aumento no consumo de forragem de baixa qualidade. Esse aumento pode ser atribuído ao nitrogênio proveniente do grão de aveia (16 g N kg<sup>-1</sup>MS) e, especialmente, ao farelo de girassol (66 g N kg<sup>-1</sup>MS). No caso de quantidades maiores que 400 g de suplemento/dia, houve redução no consumo de volumoso para níveis inferiores ao encontrado em bovinos sem suplementação.

O conteúdo de proteína do suplemento pode afetar a resposta animal. Del Curto et al. (1990), avaliando o fornecimento diário de suplementos contendo 120, 280 e 410 g PB kg<sup>-1</sup>MS, na base de 0,4% do peso vivo, verificaram que o nível de 280 g PB kg<sup>-1</sup>MS, que correspondia a 58% das exigências nutricionais dos animais, promoveu melhoria na taxa de passagem da fibra, digestibilidade da fibra e da MS, permitindo, desta forma, o aumento no consumo de forragem. Contudo, não foram observadas melhorias nestas características quando foi fornecido suplemento com 410 g PB kg<sup>-1</sup> MS.

## 2.4. Cinética de degradação

### 2.4.1. Técnica do saco de náilon

A produtividade dos ruminantes é diretamente influenciada pelo consumo de alimentos, e este, por sua vez, está ligado à degradabilidade do alimento e à capacidade da dieta em suprir os nutrientes exigidos pelos animais.

Considerando o grau em que os nutrientes específicos se tornam disponíveis aos microrganismos ruminais, bem como as quantidades que escaparam da degradação ruminal, podem-se estimar as respostas produtivas dos animais. Assim sendo, várias metodologias têm sido empregadas para estabelecer as quantidades e os teores de nutrientes necessários para ótima resposta dos microrganismos e, conseqüentemente, dos animais (Nocek, 1988; Vieira, 1995).

Diversas técnicas têm sido utilizadas para estimar a contribuição da proteína ou do carboidrato alimentar no rúmen. Nos estudos de degradação têm se destacado a técnica do saco de náilon ou *in situ*, por sua facilidade e rapidez de execução, baixo custo e boa precisão dos resultados, não existindo melhor forma de simulação do rúmen para um dado regime de alimentação (temperatura, pH, tamponamento, substrato, enzimas etc.), embora o alimento não esteja sujeito a todos os eventos digestivos, como mastigação, ruminação e passagem (Nocek, 1988; Romero, 1990); contudo, apresenta alta correlação com as técnicas *in vitro* e *in vivo* (Romero, 1990). O uso desta técnica para determinação da degradabilidade das frações dos alimentos remonta aos anos 30, quando Quin et al. (1938), citados por Mehrez & Orskov et al. (1977), utilizaram sacos de seda para estimar a digestão dos alimentos no rúmen de ovelhas fistuladas. Posteriormente, a seda foi substituída por materiais sintéticos, como o poliéster, totalmente resistente à degradação ruminal, e desde então muitos pesquisadores têm usado esta técnica com diferentes propósitos (Nocek & English, 1986). A técnica, em essência, mede o desaparecimento de constituintes dos alimentos após serem incubados em diferentes tempos em sacos de náilon, dácron ou poliéster. Entretanto, apesar do aumento de seu uso, a técnica

também tem sido sujeita a uma avaliação intensa e crítica com relação aos fatores que influenciam a digestão, como tamanho da amostra, posição dos sacos no rúmen, duração do tempo e do modo de lavagem dos sacos e tamanho e porosidade dos tecidos utilizados na confecção dos sacos (Nocek & English, 1986; Nocek, 1988). Assim, o melhor entendimento dos mecanismos que controlam ou influenciam esses fatores poderá ajudar no estabelecimento de procedimentos padronizados (Marinucci et al., 1992), possibilitando a reprodução dos resultados, com erros-padrão aceitáveis (Romero, 1990).

#### **2.4.2. Degradação do volumoso**

A degradação de volumosos depende de diversos fatores, como a natureza química e dos aspectos físicos e morfológicos, os quais determinam a velocidade de degradação no rúmen.

A retenção dos alimentos no rúmen-retículo permite uma relação simbiótica entre o animal e os microrganismos ruminais, capazes de utilizar esses alimentos ingeridos como substratos para o seu crescimento (Hungate, 1988). Esta estratégia tem como conseqüências: 1) longo tempo médio de retenção de partículas no retículo-rúmen, aumentando a utilização dos constituintes da parede celular; e, por outro lado, 2) longo tempo médio de retenção, que pode restringir o consumo voluntário, porque o consumo de volumoso é limitado principalmente pela capacidade do trato digestivo (Lechner-Doll et al., 1991, citados por Pereira et al., 2002).

Nos últimos anos, tem havido interesse considerável na redução das perdas de nitrogênio pelos ruminantes, a partir da formulação de rações balanceadas que considerem as múltiplas inter-relações entre os microrganismos ruminais e o hospedeiro. O ajuste das rações visa a minimização das perdas nitrogenadas pelos animais, a maximização do crescimento bacteriano e a melhoria no desempenho animal. A proteína dietética pode ser mais ou menos destruída, mas o crescimento microbiano pode compensar a perda de qualidade. Quando a proteína é consumida em excesso, o nitrogênio dietético é convertido a amônia, absorvido pelo epitélio ruminal e excretado na forma de uréia pelos rins (Huntington, 1997).

Os sistemas de avaliação de alimentos para ruminantes empregam modelos de primeira ordem para estimar a degradação e o escape ruminal dos compostos nitrogenados e dos carboidratos (Sniffen et al., 1992). O conhecimento atual dos padrões cinéticos dos nutrientes no rúmen baseou-se nas observações de Wilkins (1969), citado por Mertens (1993), ao verificar que certa quantidade de celulose permanecia indegradável após sete dias de incubação ruminal, resultando assim no desdobramento conceitual da celulose em duas frações: uma potencialmente degradável e outra indegradável (Waldo, 1970, citado por Mertens, 1993). Waldo et al. (1972) relacionaram as taxas de degradação e de passagem desses componentes com o efeito de repleção ruminal (RR), sendo este fator determinante do consumo (Vieira et al., 1997a).

A repleção ruminal é a expressão do tempo que o alimento permanece no rúmen, sofrendo os efeitos físicos de passagem, decorrentes da mastigação durante a ruminação e da digestão pelos microrganismos do rúmen (Van Soest, 1994), portanto é uma importante medida mecanicista utilizada para avaliar o efeito da fibra e suas frações sobre a retenção da digesta no rúmen (Vieira et al., 1997a).

O método mais comum para determinação da taxa de degradação foi proposto por Smith et al. (1971; 1972), que dividiram a fibra da forragem em frações potencialmente degradável e não-degradável. Eles demonstraram a validade de expressar a degradação da parede celular como uma taxa constante, obedecendo à cinética de primeira ordem para uma ampla variedade de gramíneas e leguminosas temperadas.

Waldo et al. (1972) propuseram que a celulose indegradável desapareceria do rúmen apenas pela passagem que, neste caso, seria proporcional à quantidade de celulose indegradável e poderia ser expressa em função do tempo como uma relação linear semilogarítmica. A fração potencialmente degradável da celulose desapareceria tanto pela passagem quanto pela digestão.

Uma premissa associada com a cinética de primeira ordem é que a fração em questão é homogênea e que a velocidade de degradação é proporcional à quantidade de substrato presente no meio. Entretanto, esta premissa é violada quando as frações solúvel e a não-degradável não são

determinadas, ou quando uma mistura heterogênea de substratos potencialmente degradáveis está presente e sendo degradada simultaneamente a taxas diferentes (Nocek & English, 1986).

Alguns sistemas biológicos apresentam dados de crescimento que seguem um comportamento tipicamente logístico, como o crescimento microbiano e a produção de gases por microrganismos sob cultivo em batelada, utilizando forragens como substrato, dados de desaparecimento *in vitro* de forrageiras em função do tempo e dados de degradação de subprodutos ou resíduos da agroindústria, quando incubados *in situ*. Nestes modelos, observa-se a existência de períodos de latência discretos, indicando que a degradação depende dos processos relacionados à hidratação e aderência de microrganismos, processos estes tempo-dependentes, modelizados mais adequadamente por funções logísticas e, particularmente, com um parâmetro que permita discriminar uma fase de latência discreta quando necessário (Van Milgen et al., 1991; Mertens, 1993; Vieira, 1995; Pereira et al., 2000). Desta forma, os perfis de degradação da fibra em detergente neutro, dos carboidratos fibrosos e da proteína insolúvel em detergente neutro obtidos podem ser interpretados cineticamente, utilizando o modelo logístico decrescente proposto por Van Milgen et al. (1991).

## **2.5. Cinética de passagem**

A taxa de passagem refere-se ao escape de resíduos não-digeridos e digeridos através do trato gastrintestinal. O escape inclui, além da fibra indigestível, bactérias e outras frações não-degradadas do alimento, devendo ser ressaltado que a composição da dieta (Moore et al., 1992; Gomes et al., 1994; Rosado et al., 1994; Van Soest, 1994) animal e as condições climáticas (Faichney, 1993) são as variáveis que influenciam a passagem da digesta. Os fatores dietéticos incluem o consumo voluntário, a quantidade e a forma física da fibra (Mertens, 1977).

As variações na taxa de passagem de resíduos não-digeridos têm grandes implicações no consumo de alimentos, principalmente em animais



que consomem dietas de baixa digestibilidade, como forrageiras tropicais (Lascano & Quiroz, 1990).

A lenta taxa de passagem da digesta pelo rúmen-retículo de animais alimentados com forragem de baixa qualidade tem sido atribuída a partículas grandes, com pequena probabilidade de escape do rúmen-retículo (Hungate, 1966; Kennedy & Murphy, 1988). Assim, a quebra das partículas da fibra deve ocorrer até que atinjam tamanho e densidade que lhes possibilite passar no orifício retículo-omasal. A degradação física das forragens ingeridas pelos ruminantes, em fragmentos cada vez menores, dá-se pela combinação dos eventos: mastigação inicial durante a ingestão; mastigação durante a ruminação; fricção devido à movimentação da digesta; e digestão microbiana (Faichney, 1986, citado por Fontes et al., 2001).

O aumento da taxa de passagem é obtido pela redução dessas partículas para tamanhos menores que 3,6 mm em bovinos (Shaver et al., 1986). No entanto, em estudos com ovinos (Poppi et al., 1980) e com bovinos (Ulyatt et al., 1986) constatou-se que para ocorrer a saída das partículas do rúmen é necessário que elas sejam reduzidas a um tamanho crítico, que seria cerca de 1 mm e de 1,5 a 2,0 mm, respectivamente. Caso todas as partículas menores que o tamanho crítico abandonassem o rúmen com a mesma facilidade, a proporção dos diversos tamanhos de partículas seria a mesma no conteúdo dos compartimentos rúmen-retículo e abomaso. No entanto, Pereira et al. (2002) verificaram aumento contínuo na resistência ao escape das partículas do rúmen com o aumento de seu tamanho, devendo ser ressaltado que as maiores que 1,19 mm escaparam do rúmen, apesar de enfrentarem alta resistência, e as menores que este tamanho enfrentaram diferentes graus de resistência ao escape. Contudo, Thiago & Gill (1990) discordaram do conceito de tamanho crítico de partículas, uma vez que uma grande proporção da digesta encontrada no rúmen é constituída de partículas menores que 1 mm, portanto são passíveis de deixar o rúmen, tanto em bovinos como em ovinos alimentados com forragens picadas.

Se a taxa de passagem é um fator limitante no desaparecimento de material do rúmen (Ulyatt et al., 1986), o entrelaçamento das partículas que constituem a malha filtrante do rúmen ou *raft* pode também assumir papel

importante neste processo. Segundo Sutherland (1988), citado por Thiago & Gill (1990), essa malha filtrante funcionaria como uma espécie de peneira, que selecionaria partículas em movimento no rúmen, e sua formação dependeria do relacionamento entre o tamanho e a densidade das partículas que constituem a digesta e, conseqüentemente, do tempo após a alimentação e do tipo de forragem ingerida. Além disto, a presença do *raft* é também uma necessidade para manutenção normal das funções do rúmen, através da estimulação tátil de seu epitélio.

Vários modelos têm sido propostos na literatura para descrever a cinética de passagem, no entanto nenhum critério seguro está disponível para determinar qual modelo é mais apropriado para as diferentes condições encontradas (Quiroz et al., 1988; Moore et al., 1992).

Blaxter et al. (1956) foram os primeiros a sugerir que o perfil de excreção fecal do indicador poderia ser descrito na forma matemática, como sendo a soma de dois componentes exponenciais e de um tempo de retardo ou de trânsito no processo de remoção. De acordo com esses autores, a taxa de renovação mais rápida ( $k_1$ ) corresponderia ao escape das partículas do rúmen e a mais lenta ( $k_2$ ), ao escape das partículas do abomaso; a constante  $\tau$  representaria o tempo de trânsito das partículas entre o duodeno e as fezes.

O fluxo de partículas é dependente de atributos da digesta, e não dos segmentos anatômicos do trato gastrintestinal (TGI) (Hungate, 1966), visto que, por definição, um compartimento pode existir em qualquer segmento anatômico do TGI, desde que haja retenção e mistura das partículas recém-ingeridas com as já existentes. Baseando-se neste conceito, o autor sugeriu a existência de dois compartimentos no rúmen, sendo o primeiro um compartimento de ruminação com partículas grandes que não passam através do orifício retículo-omasal e o segundo um compartimento constituído de partículas pequenas dispersas na fase líquida, elegíveis para o escape do rúmen.

Observando que os processos de mistura e redução das partículas recém-ingeridas alteram sua probabilidade de escape através do orifício retículo-omasal, Matis (1972) propôs a incorporação da distribuição gama do

tipo  $\Gamma(n, \lambda, t)$  ao primeiro compartimento do modelo bicompartimental tempo-independente de Blaxter et al. (1956), o que resultou em melhor ajuste aos dados de excreção fecal do indicador, em comparação com os modelos com taxa independente do tempo.

Estudando em detalhes os fluxos das fases líquida e sólida da digesta em ovinos, Grovum & Williams (1973) afirmaram que as taxas de passagem lenta ( $k_1$ ) e a rápida ( $k_2$ ) estavam associadas, respectivamente, com o escape do indicador do rúmen-retículo e ceco-cólon proximal, contrariando a explicação biológica proposta por Blaxter et al. (1956) para essas taxas.

A sugestão de Hungate (1966) da existência de dois compartimentos no rúmen, associada à observação de uma mistura lenta das partículas grandes no rúmen, levou Ellis et al. (1979) a concluir que as taxas  $k_1$  e  $k_2$  estavam associadas aos processos que ocorrem no rúmen, e não no rúmen e ceco-cólon proximal, conforme sugerido por Grovum & Williams (1973). Com essa interpretação,  $k_1$  representaria a mistura das partículas recém-ingeridas com as partículas grandes existentes no compartimento de ruminação, enquanto  $k_2$  representaria a taxa na qual a digesta deixa o compartimento de partículas grandes e passa a constituir o compartimento de partículas pequenas.

A suposição de que existem mais de dois compartimentos de retenção e mistura de partículas no TGI foi abordada por Dhanoa et al. (1985), ao assumirem que o fluxo da digesta representava um processo exponencial multicompartimental, ou seja, baseavam na pressuposição de que o fluxo através desses múltiplos compartimentos apresentava probabilidade de escape exponencialmente distribuída (taxa independente do tempo).

Posteriormente, Pond et al. (1988) ajustaram ao modelo de Matis (1972) dois compartimentos e um tempo de retardo aos dados de excreção fecal obtidos com bovinos, introduzindo a dependência de tempo no compartimento como o menor tempo de retenção. Embora os modelos tenham sido hábeis para descrever os dados, requerendo diferentes ordens de dependência gama para as várias dietas utilizadas por Pond et al. (1988), todos os processos de mistura de partículas no TGI, incluindo aqueles no abomaso e ceco-cólon proximal, foram englobados no modelo

bicompartmental. De acordo com Pond et al. (1988) e Quiroz et al. (1988), se existe igual probabilidade de escape de todas as partículas, incluindo as consumidas mais recentemente, então a concentração do indicador teria tempo de permanência no rúmen exponencialmente distribuída, e deixaria esse compartimento, a uma razão  $k$ , por unidade de tempo após o fornecimento do indicador, ou seja,  $E(k) = \int_0^{\infty} k \cdot f(t) dt = k$ , sendo  $f(t) = k \cdot \exp(-kt)$ , o que demonstra que  $k$  é constante e independente de  $t$ .

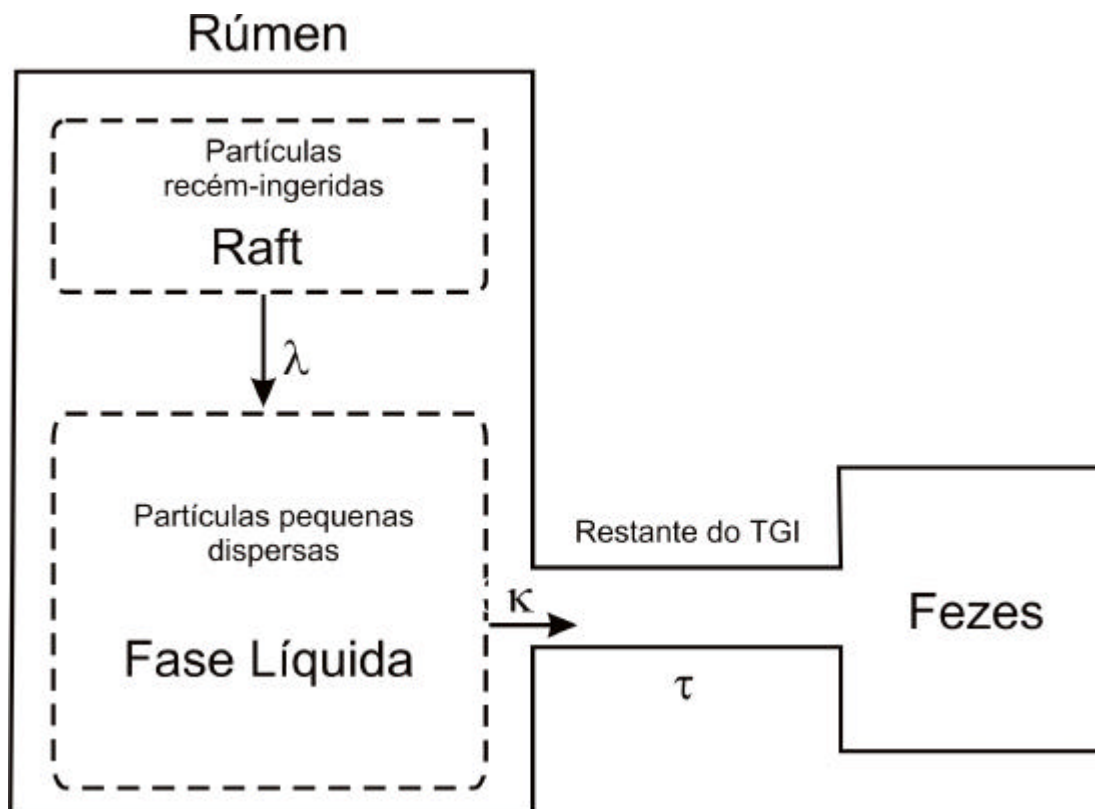
Comparando as concentrações do indicador obtidas no duodeno e nas fezes, Ellis et al. (1994) verificaram que os perfis ajustados aos modelos bicompartmentais eram semelhantes nos dois sítios de amostragem. Neste sentido, pode-se inferir que o fluxo pós-ruminal da digesta é laminar, o que significa dizer que as taxas  $k_1$  e  $k_2$  estão associadas aos processos de passagem pelo rúmen-retículo. Geralmente, a estimação de  $k_1$  está associada com um erro alto (Pond et al., 1988; 1989; Lascano & Quiroz, 1990), particularmente se não tiver pontos suficientes na fase ascendente do perfil do indicador em função do tempo (Lascano & Quiroz, 1990). Portanto, a recomendação de reduzir pontos amostrais nesta fase deve ser analisada criteriosamente, a fim de que possa descrever matematicamente os eventos biológicos de forma acurada.

A natureza funcional dos compartimentos do rúmen e a representação esquemática do escape de partículas no TGI podem ser visualizadas na Figura 1.

Com base no conceito de que existem dois compartimentos no rúmen (Hungate, 1966) e de que as taxas de passagem ( $\lambda$  e  $k$ ) estão associadas aos processos de passagem pelo rúmen-retículo (Ellis et al., 1979), o tempo médio de retenção ruminal (TMRR) e a taxa de passagem pelo rúmen-retículo ( $k_p$ ) para os modelos bicompartmentais GnG1 devem ser calculados, conforme as expressões:

$$\text{TMRR} = \frac{n}{\lambda} + \frac{1}{k}; \quad k_p = \frac{1}{\text{TMRR}}$$

em que  $n$  representa a ordem de dependência da função gama.



Fonte: adaptado de Ellis et al. (1979, 1994).

$\lambda$  = taxa de passagem no compartimento com probabilidade de escape de partículas gama distribuída;

$\kappa$  = taxa de passagem no compartimento com probabilidade de escape de partículas exponencialmente distribuída; e

$\tau$  = tempo decorrido entre a administração do indicador e o início de seu aparecimento nas fezes.

Figura 1 – Cinética de passagem de partículas no trato gastrointestinal (TGI).

Vale ressaltar que os modelos de Pond et al. (1988), embora possam ser derivados de forma determinista (France et al., 1985; Van Milgen et al., 1991), têm bases estocásticas (Matis & Hartley, 1971; Matis, 1972; Pond et al., 1988), ou seja, assumem que o sistema opera com base em princípios probabilísticos, como resultado das ações independentes das partículas individuais (Faichney, 1993; Mertens, 1993). Ademais, a interpretação biológica de parâmetros estimados através de procedimentos não-lineares pode apresentar dificuldades quando se trabalha com modelos deterministas (Pond et al., 1988; Van Milgen et al., 1991). Neste sentido, modelos estocásticos têm sido desenvolvidos para sistemas biológicos e utilizados na cinética de passagem (Pond et al., 1988; Ellis et al., 1994).

O sucesso de qualquer método de ajuste de curvas pode ser julgado pela habilidade do modelo em descrever os dados, sem super ou subestimar, sistematicamente, alguma seção do perfil de passagem de partículas, o que resulta na obtenção de estimativas mais acuradas dos parâmetros (Dhanoa et al., 1985; Vieira et al., 1997b). Assim, quanto maior o número de corridas de sinal dos desvios padronizados em um perfil (Draper & Smith, 1966), melhor será o ajuste do modelo (Vieira et al., 1997b).

Segundo Udén et al. (1980), a mensuração da taxa de passagem de partículas e fluidos exige a recuperação dos indicadores, que não são separados das respectivas frações lábeis. A suposição geral é que o indicador está em equilíbrio com a fração em que ele é lábil. Visto que nenhum indicador satisfaz totalmente estas condições, os indicadores de fase sólida são normalmente menos satisfatórios que os da fase líquida. Com a necessidade de determinar a taxa de passagem, torna-se desejável proceder às medições das taxas de passagem das duas fases em separado, visto que são relativamente independentes entre si.

Os fatores que influenciam a taxa de passagem da fase líquida, segundo Owens & Goetsch (1986), citados por Bürger et al. (2000), são o nível de ingestão, a proporção de concentrado, o indicador utilizado, bem como os locais de amostragem. Udén et al. (1980) verificaram que o Co-EDTA e o Cr-EDTA foram indicadores eficientes da fase líquida, produzindo resultados equivalentes.

A eficiência do crescimento dos microrganismos do rúmen aumenta com o incremento da taxa de passagem dos líquidos do rúmen em culturas contínuas *in vitro*, quando o pH e a taxa de passagem de líquidos estão na faixa dos valores observados *in vivo*. A taxa de passagem de partículas pode ter um efeito maior na eficiência de crescimento microbiano que a taxa de passagem de líquidos, pois, proporcionalmente, mais bactérias estão associadas às partículas da digesta do que com a fase líquida (Firkins et al., 1986, citados por Gomes, 1991).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BLAXTER, K.L.; GRAHAM, McC.; WAINMAN, F.W. Some observations on the digestibility of food by sheep, and on related problems. **British Journal of Nutrition**, v.10, n.2, p.69-91, 1956.
- BOTREL, M.A.; NOVAES, L.P.; ALVIM, M.J. **Características forrageiras de algumas gramíneas tropicais**. Juiz de Fora, MG: EMBRAPA/CNPGL, 1998. 35p. (EMBRAPA-CNPGL. Documentos, 66).
- BRODERICK, G.A. Methodology for the determining ruminal degradability of feed proteins. In: PEREIRA, J.C. (Ed.). **Simpósio internacional sobre exigências nutricionais de ruminantes**. Viçosa, 1995. **Anais...** Viçosa: UFV/DZO. 1995, p.139-176.
- BÜRGER, P.J.; PEREIRA, J.C.; SILVA, J.F.C. et al. Taxas de passagem e cinética de degradação ruminal em bezerros holandeses alimentados com dietas contendo diferentes níveis de concentrado. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, n.1, p.225-235, 2000.
- CABRAL, L.S. **Cinética ruminal das frações de carboidratos e proteínas e digestão intestinal da proteína de alimentos por intermédio de técnicas *in vitro***. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1999. 74p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 1999.
- CARDOSO, E.G. Suplementação de bovinos de corte em pastejo (semiconfinamento). In: SIMPÓSIO SOBRE PRODUÇÃO ANIMAL, 9, 1997, Piracicaba, SP. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1997. p.97-120.
- CHERNEY, J.H.; MOORE, K.J.; VOLENEC, J.J. et al. Rate and extent of digestion of cell wall components of brown-midrib sorghum species. **Crop Science**, v.26, n.5, p.1055-1059, 1986.



- DEL CURTO, T.; COCHRAN, R.C.; HARMON, D.L. et al. Supplementation of dormant tallgrass-prairie forage: I. Influence of varying supplemental protein and (or) energy levels on forage utilization characteristics of beef steers in confinement. **Journal of Animal Science**, v.68, p.515-531, 1990.
- DHANOVA, M.S.; SIDONS, R.C.; FRANCE, J. et al. A multicompartamental model to describe marker excretion patterns in ruminant faeces. **British Journal of Nutrition**, v.53, n.3, p.663-671, 1985.
- DOVE, H. The ruminant, the rumen and the pasture resource: nutrient interactions in the grazing animal. In: HODGSON, J.; ILLUS, A.W. (Ed.). **The ecology and management of grazing systems**. CAB International. 1996. p.219-246.
- DRAPER, N.R.; SMITH, H. **Applied regression analysis**. John Wiley & Sons, Inc., New York, USA, 1966. 407 p.
- ELLIS, W.C. Determinants of grazed forage intake and digestibility. **Journal of Dairy Science**, v.61, n.12, p.1828-1840, 1978.
- ELLIS, W.C.; MATIS, J.H.; LASCANO, C. Quantitating ruminal turnover. **Federation Proceedings**, v.38, n.13, p.2702-2706, 1979.
- ELLIS, W.C.; MATIS, J.H.; HILL, T.H. et al. Methodology for estimating digestion and passage kinetics of forages. In: FAHEY Jr., G.C. (Ed.). **Forage quality, evaluation, and utilization**. American Society of Agronomy, Inc., Crop Science Society of America, Inc., Soil Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin, USA. 1994. p.682-756.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Corte, Campo Grande, MS. *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. Campo Grande, EMBRAPA-CNPGC, 1984. 31p. (EMBRAPA-CNPGC. Documentos, 21).
- EUCLIDES, V.P.B. Manejo de pastagens para bovino de corte. In: BUTOLO, J.E.; JUNQUEIRA, O.M.; MIYADA, V.S. (Ed.). **Simpósio goiano sobre manejo e nutrição de bovinos**, 3, 2001, Goiânia, GO. **Anais...** Goiânia: Colégio Brasileiro de Nutrição Animal, 2001. p.201-222.
- EUCLIDES, V.P.B.; EUCLIDES FILHO, K.; ARRUDA, Z.J. et al. Desempenho de novilhos em pastagens de *Brachiaria decumbens* submetidos a diferentes regimes alimentares. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.27, n.2, p.246-254, 1998.
- FAICHNEY, G.J. Digesta flow. In: FORBES, J.M.; FRANCE, J. **Quantitative aspects of ruminant digestion and metabolism**. Commonwealth Agricultural Bureaux, Cambridge University Press, England, 1993. p.53-85.

- FONTES, C.A.A.; ALVES, G.R.; PAULINO, M.F. et al. Influência do nível de consumo sobre a degradabilidade das partículas e características ligadas à cinética ruminal, em novilhos pastejando capim-elefante. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.30, n.6, p.2134-2144, 2001.
- FRANCE, J.; THORNLEY, J.H.M.; DHANOA, M.S. et al. On the mathematics of digesta flow kinetics. **J. Theor. Biol.**, v.113, p.743-758, 1985.
- GOMES, B.V. **Influência das características químicas e físicas das forragens sobre o consumo, degradação e cinética da digesta ruminal**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1991. 115p. Dissertação (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 1991.
- GOMES, B.V.; QUEIROZ, A.C.; FONTES, C.A.A. et al. Estudo das características físico-químicas de fenos e palhas. I. Efeitos sobre a ingestão, digestibilidade aparente e taxa de passagem da matéria seca, pH e concentração de amônia ruminal. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v.23, n.3, p.352-365, 1994.
- GOMIDE, J.A.; QUEIROZ, D.S. Valor alimentício das *Brachiarias*. In: PEIXOTO, A.M.; MOURA, J.C.; FARIA, V.P. **Simpósio sobre manejo da pastagem**, 11, 1994, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1994. p.223-248.
- GROVUM, W.L.; WILLIAMS, V.J. Rate of passage of digesta in sheep. 4. Passage of marker through the alimentary tract and the biological relevance of rate-constants derived from the changes in concentration of marker in faeces. **British of Journal Nutrition**, v.30, n.3, p.313-329, 1973.
- GUTHRIE, M.J.; WAGNER, D.G. Influence of protein or grain supplementation and increasing levels of soybean meal on intake, utilization and passage rate of prairie hay in beef steers and heifers. **Journal of Animal Science**, v.66, n.6, p.1529-1537, 1988.
- HALL, M.B. Recent advances in non-NDF carbohydrates for the nutrition of lactating cows. In: TEIXEIRA, J.C.; SANTOS, R.A.; DAVID, F.M. et al. **Simpósio internacional em bovinocultura de leite: novos conceitos em nutrição**. Lavras: UFLA-FAEPE, 2001. p.139-148.
- HUNGATE, R.E. **The rumen and its microbes**. New York, Academic Press, 1966. 533p.
- HUNGATE, R.E. Introduction: the ruminant and the rumen. In: HOBSON, P.N. **The rumen microbial ecosystem**. London. 1988. p.1-19.
- HUNTINGTON, G.B. Starch utilization by ruminants: from basics to the bunk. **Journal of Animal Science**, v.75, p.852-867, 1997.

- KARGES, K.K.; KLOPFENSTEIN, V.A.; WILKERSON, V.A. et al. Effects of ruminally degradable and escape protein supplements on steers grazing summer native range. **Journal of Animal Science**, v.70, n.6, p.1957-1964, 1992.
- KENNEDY, P.M.; MURPHY, M.R. The nutritional implications of differential passage of particles through the ruminant alimentary tract. **Nutrition Research Reviews**, v.1, n.1, p.189-208, 1988.
- LASCANO, C.; QUIROZ, R. Metodologia para estimar la dinámica de la digestión en rumiantes. In: RUIZ, M.E.; RUIZ, A. (Ed.). **Nutrición de rumiantes: guía metodológica de investigación**, 1990. Cap. II. Analisis biológico y tasa de digestión., 1990, San José, Costa Rica, IICA-RISPAL, 1990. p.89-104.
- LEITE, G.G.; EUCLIDES, V.P. Utilização de pastagens de *Brachiaria* spp. In: PEIXOTO, A.M.; MOURA, J.C.; FARIA, V.P. **Simpósio sobre manejo da pastagem**, 11, 1994, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1994. p.267-297.
- LUSBY, K.S.; STEVENS, V.; APPLE, K. Supplementing the cow herd. Cooperative Extension Service. Oklahoma State University, 2002. OSU Extension Facts 3010. URL: <http://www.ansi.okstate.edu/exten/beef>.
- MACEDO, M.C.M. Pastagens no ecossistema cerrados. In: ANDRADE, R.P.; BARCELLOS, A.O.; ROCHA, C.M.S. (Ed.). **Simpósio sobre pastagens nos ecossistemas brasileiros: pesquisas para o desenvolvimento sustentável**, 32, 1995, Brasília, DF. **Anais...** Brasília, DF: SBZ, 1995. p.28-62.
- MARINUCCI, M.T.; DEHORITY, B.A.; LOERCH, S.C. In vitro and in vivo studies of factors affecting digestion of feeds in synthetic fiber bags. **Journal of Animal Science**, v.70, n.1, p.296-307, 1992.
- MATIS, J.H. Gamma time-dependency in Blaxter's compartmental model. **Biometrics**, v.28, n.2, p.597-602, 1972.
- MATIS, J.H.; HARTLEY, H.O. Stochastic compartmental analysis: model and least squares estimation from time series data. **Biometrics**, v.27, p.77-102, 1971.
- McCOLLUM, F.T.; GALYEAN, M.L. Influence of cottonseed meal supplementation on voluntary intake, rumen fermentation and rate of passage of prairie hay in beef steers. **Journal of Animal Science**, v.60, n.2, p.570-577, 1985.
- MEHREZ, A.Z.; ORSKOV, E.R. A study of the artificial fibre bag technique for determining the digestibility of feeds in the rumen. **Journal of Agricultural Science**, v.88, n.3, p.645-650, 1977.

- MERTENS, D.R. Dietary fiber components: relationship to the rate and extent of ruminal digestion. **Federation Proceedings**, v.36, n.2, p.187-192, 1977.
- MERTENS, D.R. Rate and extent of digestion. In: FORBES, J.M.; FRANCE, J. **Quantitative aspects of ruminant digestion and metabolism**. Commonwealth Agricultural Bureaux, Cambridge University Press, England, 1993. p.13-51.
- MERTENS, D.R. Physically effective NDF and its use in formulating dairy rations. In: TEIXEIRA, J.C.; SANTOS, R.A.; DAVID, F.M. et al. **Simpósio internacional em bovinocultura de leite: novos conceitos em nutrição**. Lavras: UFLA-FAEPE, 2001. p.25-36.
- MINSON, D.J. **Forage in ruminant nutrition**. Academic Press, Inc. New York, 1990. 483p.
- MOORE, J.A.; POND, K.R.; POORE, M.H. et al. Influence of model and marker on digesta kinetic estimates for sheep. **Journal of Animal Science**, v.70, p.3526-3540, 1992.
- NOCEK, J.E. In situ and other methods to estimate ruminal protein and energy digestibility: a review. **Journal of Dairy Science**, v.71, n.8, p.2051-2069, 1988.
- NOCEK, J.E.; ENGLISH, J.E. In situ degradation kinetics: evaluation of rate determination procedure. **Journal of Dairy Science**, v.69, n.1, p.69-77, 1986.
- NOGUEIRA FILHO, J.C.M. Digestão microbiana da parede celular vegetal. In: BUTOLO, J.E.; JUNQUEIRA, O.M.; MIYADA, V.S. (Ed.). **Simpósio goiano sobre manejo e nutrição de bovinos**, 3. 2001, Goiânia, GO. **Anais...** Goiânia, GO: Colégio Brasileiro de Nutrição Animal, 2001. p.47-74.
- NOLLER, C.H.; NASCIMENTO Jr.; QUEIROZ, D.S. Exigências nutricionais de animais em pastejo. In: PEIXOTO, A.M.; MOURA, J.C.; FARIA, V.P. (Ed.). **Simpósio sobre manejo da pastagem**, 13. Piracicaba, SP, 1996. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1997. p.319-352.
- PATERSON, J.A.; BELYEA, R.L.; BOWMAN, J.P. et al. The impact of forage quality and supplementation regimen on ruminant animal intake and performance. In: FAHEY Jr., G.C. (Ed.). **Forage quality, evaluation, and utilization**. Lincoln, Madison: American Society of Agronomy, 1994. p.59-114.
- PEREIRA, J.C.; ALMEIDA, M.S.; CECON, P.R. et al. Dinâmica da degradação ruminal por novilhos mantidos em pastagem natural em diferentes épocas do ano. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, n.2, p.740-748, 2002.

- PEREIRA, J.C.; VIEIRA, R.A.M.; GONZÁLEZ, J. et al. Degradabilidade ruminal de alguns subprodutos agroindustriais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, n.6, p.2359-2366, 2000.
- POND, K.R.; ELLIS, W.C., MATIS, J.H. et al. Compartment models for estimating attributes of digesta flow in cattle. **British Journal of Nutrition**, v.60, n.3, p.571-595, 1988.
- POND, K.R.; ELLIS, W.C.; MATIS, J.H. et al. Passage of chromium-mordanted and rare earth-labeled fiber: time of dosing kinetics. **Journal of Animal Science**, v.67, p.1020-1028, 1989.
- POPPI, D.P.; McLENNAN, S.R. Protein and energy utilization by ruminants at pasture. **Journal of Animal Science**, v.73, p.278-290, 1995.
- POPPI, D.P.; NORTON, B.W.; MINSON, D.J. The validity of the critical size theory for particles leaving the rumen. **Journal of Agricultural Science**, v.94, n.2, p.275-280, 1980.
- QUINN, L.; MOTT, G.O.; BISSCHOFF, W.V.A. et al. Resposta dos bezerros machos da raça zebu à alimentação privativa, à castração, ao dietilestilbestrol e à alimentação suplementar no pasto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.1, p.303-317, 1966.
- QUIROZ, R.A.; POND, K.R.; TOLLEY, E.A. et al. Selection among nonlinear models for rate of passage studies in ruminants. **Journal of Animal Science**, v.66, n.11, p.2977-2986, 1988.
- REIS, R.A.; RODRIGUES, L.R.A.; PEREIRA, J.R.A. A suplementação como estratégia de manejo da pastagem. In: PEIXOTO, A.M.; MOURA, J.C.; FARIA, V.P. (Ed.). **Simpósio sobre manejo da pastagem**, 13. Piracicaba, SP, 1996. Produção de bovinos a pasto. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1997. p.123-150.
- REZENDE, K.T.; RIBEIRO, S.D.A.; DORIGAN, C.J. et al. Nutrição de caprinos: novos sistemas e exigências nutricionais. In: LIMA, F.A.M.; LEITE, E.R.; MARTINS FILHO, R. (Ed.). **Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, 33. 1996, Fortaleza, CE. **Simpósios...** Fortaleza: SBZ, 1996. p.77-99.
- ROMERO, F. Utilización de la técnica de digestión *in situ* para la caracterización de forrajes. In: RUIZ, M.E.; RUIZ, A. (Ed.). **Nutrición de ruminantes: guía metodológica de investigación**, 1990. Cap. II. Analisis biológico y tasa de digestión., 1990, San José, Costa Rica, IICA-RISPAL, 1990. p.105-114.
- ROSADO, M.; CASTRO, A.C.G.; SILVA, J.F.C. et al. Utilização de lipídios complexados com cálcio para vacas em lactação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.29, n.7, p.1159-1165, 1994.

- 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.12, p.3551-3561, 1992.
- SCHWAB, C.G. Amino acid nutrition of the dairy cow: current status. In: PROCEEDINGS CORNELL NUTRITION CONFERENCE FOR FEED MANUFACTURES. Cornell University, Ithaca, N.Y.: 1996. p.184-198.
- SHAVER, R.D.; NYTES, A.J.; SATTER, L.D. et al. Influence of amount of feed intake and forage physical form on digestion and passage of prebloom alfalfa hay dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.69, n.6, p.1543-1559, 1986.
- SILVA, S.C. Manejo de plantas forrageiras dos gêneros *Brachiaria*, *Cynodon* e *Setaria*. In: PEIXOTO, A.M.; MOURA, J.C.; FARIA, V.D. (Ed.). **Volumosos para bovinos**, 1993, Piracicaba: FEALQ, 1993. p.29-57.
- SMITH, L.W.; GOERING, H.K.; WALDO, D.R. et al. In vitro digestion rate of forage cell wall components. **Journal of Dairy Science**, v.54, n.1, p.71-76, 1971.
- SMITH, L.W.; GOERING, H.K.; GORDON, C.H. Relationships of forage compositions with rates of cell wall digestion and indigestibility of cell walls. **Journal of Dairy Science**, v.55, n.8, p.1440-1447, 1972.
- 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.
- THIAGO, L.R.L.S.; GILL, M. **Consumo voluntário: fatores relacionados com a degradação e passagem da forragem pelo rúmen**. Campo Grande, EMBRAPA-CNPGC, 1990. 65p. (EMBRAPA-CNPGC. Documentos, 43).
- UDÉN, P.; COLUCCI, P.E.; VAN SOEST, P. J. Investigation of chromium, cerium and cobalt as markers in digesta. Rate of passage studies. **Journal Science Food Agricultural**, v.31, n.7, p.625-632, 1980.
- ULYATT, M.J.; DELLOW, A.J.; JOHN, A. et al. Contribution of chewing during eating and rumination to the clearance of digesta from the ruminoreticulum. In: MILLIGAN, L.P.; GROVUN, W.L.; DOBSON, A. (Ed.). **Control of digestion and metabolism in ruminants**. Reston, Reston Publishing, 1986. p.498-515.
- VALLE, C.B.; EUCLIDES, V.P.B.; MACEDO, M.C.M. Características das plantas forrageiras do gênero *Brachiaria*. In: PEIXOTO, A.M.; PEDREIRA, C.G.S.; MOURA, J.C. et al. **Simpósio sobre manejo da pastagem: a planta forrageira no sistema de produção**, 18, 2001, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2001. p.133-176.

- VAN MILGEN, J.; MURPHY, M.R.; BERGER, L.L. A compartmental model to analyze ruminal digestion. **Journal of Dairy Science**, v. 74, n.8, p.2515-2529, 1991.
- VAN SOEST, P. J. **Nutritional ecology of the ruminant**. 2.ed. Cornell University Press, Ithaca, New York, 1994. 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: Universidade Federal de Viçosa, 1995. 88p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 1995.
- VIEIRA, R.A.M.; PEREIRA, J.C.; MALAFAIA, P.A.M. et al. The influence elephant-grass (*Pennisetum purpureum* Schum., Mineiro variety) growth on the nutrient kinetics in the rumen. **Animal Feed Science and Technology**, v.67, p.151-161, 1997a.
- VIEIRA, R.A.M.; PEREIRA, J.C.; MALAFAIA, P.A.M. et al. Application of non-linear models in the description of in situ degradation profiles of the elephant grass (*Pennisetum purpureum* Schum., Mineiro variety). **Animal Feed Science and Technology**, v.66, p.197-210, 1997b.
- WALDO, D.R.; SMITH, L.W.; COX, E.L. Model of cellulose disappearance from the rumen. **Journal of Dairy Science**, v.55, n.1, p. 125-129, 1972.
- WILSON, J.R. Cell wall characteristics in relation to forage digestion by ruminants. **Journal of Agricultural Science**, v.122, p.173-182, 1994.
- ZIMMER, A.H.; EUCLIDES, V.P.B. Importância das pastagens para o futuro da pecuária de corte no Brasil. In: EVANGELISTA, A.R.; BERNARDES, T.F.; SALES, E.C.J. (Ed.). **Simpósio de forragicultura e pastagens: temas em evidência**, 1, 2000, Lavras, MG. **Anais...** Lavras, MG: Universidade Federal de Lavras, 2000. p.1-49.
- ZIMMER, A.H.; EUCLIDES, V.P.B.; MACEDO, M.C.M. Manejo de plantas forrageiras do gênero *Brachiaria*. In: PEIXOTO, A.M.; MOURA, J.C.; FARIA, V.D. (Ed.). **Simpósio sobre manejo da pastagem**, 9, 1995, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1995. p.101-143.

## **Cinética de Degradação Ruminal por Bovinos Alimentados com *Brachiaria brizantha* (Hochst) Stapf. e Suplementos Contendo Diferentes Níveis de Proteína Não-Degradável no Rúmen**

**RESUMO:** Foram avaliados os efeitos de suplementos com diferentes níveis de proteína não-degradável no rúmen (PNDR) sobre os parâmetros da cinética de degradação ruminal *in situ* da fibra em detergente neutro (FDN), dos carboidratos fibrosos (CF) e da proteína insolúvel em detergente neutro (PIDN) por novilhos mantidos em pastagem de *Brachiaria brizantha*. As amostragens foram feitas em duas épocas do ano (época 1 – maio, junho e julho/2000 e época 2 – março, abril e maio/2001). Em ambas as épocas foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado, com três animais fistulados no esôfago e no rúmen, por tratamento e por período. Na época 1 os animais foram alojados em baias individuais e alimentados com suplementos com 20, 40 e 60% de PNDR e feno de capim-brizanta e mistura mineral *ad libitum*, enquanto na época 2 foram distribuídos nos tratamentos: T<sub>0</sub> = pasto de capim-brizanta + mistura mineral *ad libitum* (PM); T<sub>40</sub> = PM + suplemento com 40% de PNDR; e T<sub>60</sub> = PM + suplemento com 60% de PNDR. Os perfis de degradação da FDN, dos CF e da PIDN obtidos foram interpretados cineticamente, utilizando o modelo logístico decrescente. A fibra em detergente neutro indigerível (FDN<sub>i</sub>) correspondeu a cerca de 21 a 40% e de 16 a 35% da FDN nas amostras de pasto, nas épocas 1 e 2, respectivamente. O valor médio da repleção ruminal da fração indegradável, RR(I), foi 47% maior que o da fração potencialmente degradável, RR(U), durante a época 1, enquanto na época 2 foi de 32%. Os carboidratos fibrosos representaram aproximadamente 80% dos carboidratos totais presentes nas amostras de pasto colhidas pelos animais, em ambas as épocas do ano. O aumento da fração carboidrato fibroso indigerível (CF<sub>i</sub>), que ocorreu em detrimento da fração carboidrato fibroso digerível (CF<sub>d</sub>), resultou em maior efeito de repleção ruminal, o que pode levar à redução da disponibilidade energética para os microrganismos que fermentam carboidratos fibrosos e não-fibrosos e a perdas de nitrogênio, na presença de fontes protéicas de rápida degradação ruminal. O capim-brizanta apresentou proporção significativa de seu nitrogênio na forma de proteína de lenta degradação ruminal, proteína digestível insolúvel em detergente neutro (PIDN<sub>d</sub>), com média de 21 e 26%, nas épocas 1 e 2, respectivamente.

**Palavras-chave:** Capim-brizanta, degradabilidade, proteína de escape, suplementos.



**Ruminal Degradation Kinetic by Steers Grazing *Brachiaria brizantha*  
(Hochst) Stapf. and Fed Supplements with Different Levels of Ruminal  
Undegradable Protein**

**ABSTRACT:** The effect of supplements with different levels of ruminal undegradable protein (RUP) on the kinetic parameters of in situ degradation of neutral detergent fiber (NDF), fiber carbohydrates (FC) and protein insoluble in neutral detergent (PIND) by steers grazing *Brachiaria brizantha* pasture, were evaluated. Samplings were performed in two seasons of the year (season 1 – May, June and July/2000 and season 2 – March, April and May/2001). In both seasons a completely randomized design, with three esophageally and ruminally fistulated crossbred steers, by treatment and by period, was used. In the season 1, the animals were housed in individual stalls and fed supplements with 20, 40 and 60% RUP and *Brachiaria brizantha* hay and minerals *ad libitum*, whereas in the season 2 they were allotted to the treatments: T<sub>0</sub> = Palisadegrass pasture + minerals *ad libitum* (PM); T<sub>40</sub> = PM + supplement with 40% RUP; and T<sub>60</sub> = PM + supplement with 60% RUP. Degradation profiles of NDF, FC and PIND were kinetically interpreted, by using the decreasing logistic model. Indigestible neutral detergent fiber (NDF<sub>i</sub>) level corresponded approximately from 21 to 40% and from 16 to 35% NDF in the pasture samples, in the seasons 1 and 2, respectively. The average value of undegradable fraction ruminal repletion, RR(I), was 47% higher than the potentially degradable fraction, RR(U), during the season 1, whereas in the season 2 was of 32%. Fiber carbohydrates were approximately 80% total carbohydrates in the pasture samples selected by the animals, in both seasons of the year. The increase of indigestible fiber carbohydrate (FC<sub>i</sub>), as the digestible fiber carbohydrate (FC<sub>d</sub>) decreased, resulted in higher ruminal repletion effect, that can leads to the reduction of energy availability for the microorganisms ferment fiber and non fiber carbohydrates and to nitrogen losses, in the presence of protein sources of fast ruminal degradation. Palisadegrass showed significant nitrogen proportion, as protein of low ruminal degradation, digestible protein insoluble in neutral detergent (PND<sub>d</sub>), averaging 21 and 26% in the seasons 1 and 2, respectively.

**Key Words:** Palisadegrass, degradability, escape protein, supplements.

## Introdução

A exploração tradicional de ruminantes pelo homem tem-se baseado na capacidade que esses animais possuem de nutrir-se a partir de alimentos com elevado conteúdo em carboidratos fibrosos, em virtude de sua transformação no rúmen em ácidos graxos voláteis e proteína por parte dos habitantes nesse órgão. A utilização de recursos lignocelulósicos de baixa qualidade, por sua relativa abundância e baixo custo econômico, tem especial preferência em sistemas extensivos e semi-intensivos de produção, especialmente em regiões com escassa disponibilidade de outras fontes de alimento para o gado, ou onde esta disponibilidade é marcadamente estacional. Deste ponto de vista, o conhecimento dos mecanismos implicados na ação da população ruminal sobre as forragens é fundamental para a otimização da utilização destas (Nogueira Filho, 2001).

Sendo o consumo o principal fator determinante da produção animal, o seu aumento reveste-se de grande importância, necessitando, portanto, de mais estudos sobre o tema para melhor aproveitamento das forragens pelos ruminantes.

Os alimentos ingeridos pelos ruminantes desaparecem do trato gastrointestinal através dos processos de digestão, absorção e passagem de um compartimento para outro. Conseqüentemente, a degradação de um alimento em determinado compartimento é a resultante da atuação simultânea, de forma competitiva, da taxa de degradação e da taxa de passagem (Ellis, 1978; Mertens, 1993; Ellis et al., 1994; Van Soest, 1994). Além disto, o estudo da degradação da forragem é importante, pois determina o aporte de energia disponível aos microrganismos ruminais e os compostos nitrogenados disponíveis à síntese de proteína microbiana, como também à estimativa do consumo voluntário de forragens pelos ruminantes (Van Soest, 1994).

O critério de alimentação de ruminantes, com base somente na quantidade de nutrientes fornecidos, tem sido reconhecido por Nocek (1988) como inadequado. Manipulando-se o grau de disponibilidade de cada nutriente para os microrganismos do rúmen e a quantidade que escapa à fermentação ruminal, pode-se prever o desempenho animal. Para

estabelecer a quantidade e a taxa de disponibilidade dos nutrientes necessários para determinada resposta microbiana e animal, deve-se em primeiro lugar estimar adequadamente o grau em que cada nutriente estará disponível no rúmen.

O conhecimento dessa disponibilidade de nutrientes, principalmente de compostos nitrogenados e energia, necessários ao bom crescimento dos microrganismos ruminais, é extremamente importante em dietas à base de forragens, para que o consumo voluntário máximo não seja restringido por deficiências de nutrientes, mas sim pela capacidade máxima de enchimento do retículo-rúmen dos animais (Pereira et al., 2002).

O consumo voluntário de nutrientes digestíveis pelos bovinos pode ser limitado pelas características físico-químicas das forragens, como altos conteúdos de fibra e baixos teores de nitrogênio, que afeta a velocidade da degradação no rúmen. Assim, teores de proteína bruta abaixo de  $70 \text{ g kg}^{-1}\text{MS}$  limitam a produção animal, pois acarretam uma redução no consumo voluntário, menores coeficientes de digestibilidade. Por outro lado, quando o teor de fibra da forragem é alto ( $>550\text{-}600 \text{ g kg}^{-1}\text{MS}$ ), o consumo é baixo, uma vez que a digestibilidade da matéria seca é baixa (Van Soest, 1965; Minson, 1990; Dove, 1996), o que acarreta maior tempo de retenção do alimento no rúmen e redução na taxa de renovação no rúmen, promovendo limitações de ordem física na ingestão (Ellis, 1978; Minson, 1990; Paterson et al., 1994; Alberto, 1997). Nestas condições, o fornecimento de suplementos com relativamente alta concentração de proteína melhora a utilização da forragem e a produção animal (McCollum & Galyean, 1985; Guthrie & Wagner, 1988; Del Curto et al., 1990). No entanto, a limitação física ao consumo não será vencida pela suplementação, embora a suplementação com nitrogênio, no caso de forragens de baixa qualidade, altere o componente resíduo indigestível, encurtando o tempo de retenção e, conseqüentemente, permitindo o aumento no consumo (Siebert & Hunter, 1982, citados por Cardoso, 1997).

Portanto, o aumento no consumo voluntário de forragem de baixa qualidade, com o fornecimento de suplementos protéicos, é usualmente atribuído à elevação na taxa de digestão e taxa de passagem da forragem, favorecidas pela suplementação. Entretanto, não se sabe se o aumento é

devido à melhoria das condições de fermentação ruminal ou ao efeito metabólico promovido pela proteína não-degradável no rúmen, mas o importante é que a taxa aumenta (McCollum & Galyean, 1985; Cardoso, 1997).

As informações disponíveis na literatura são limitadas no que diz respeito à influência da suplementação protéica sobre a estimativa de parâmetros da cinética de degradação da fibra em detergente neutro, carboidratos fibrosos e proteína insolúvel em detergente neutro das diferentes espécies forrageiras, o que justifica esforços investigativos no sentido de determinar a relação entre os níveis de proteína não-degradável no rúmen e essas variáveis.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de suplementos com diferentes níveis de proteína não-degradável no rúmen sobre a cinética de degradação ruminal *in situ* por bovinos alimentados com capim-brizanta, em duas épocas do ano.

## **Material e Métodos**

Foram conduzidos dois experimentos: um durante os meses de maio, junho e julho/2000, correspondentes à época 1; e outro durante os meses de março, abril e maio/2001, relativos à época 2, em pastagens de capim-brizanta (*Brachiaria brizantha* (Hochst.) Stapf.). Os trabalhos foram nas dependências do Instituto Barreiro de Biotecnologia (IBB), sediado à Fazenda Barreiro Ltda., município de Silvânia, Estado de Goiás.

O município de Silvânia localiza-se no planalto central goiano, com clima mesotérmico e úmido, segundo a classificação de Köppen. A temperatura média anual é de 22 °C, variando, em média, cinco graus ao longo do ano e a precipitação pluviométrica anual (1.450 mm), caracteriza-se por uma distribuição periódica com duas estações bem definidas, com a maior concentração das chuvas ocorrendo no período de novembro a março. A maior parte é de solos muito profundos, argilosos e médio-argilosos, bem drenados, de baixa suscetibilidade à erosão e com fertilidade natural baixa (areias quartzozas). A topografia divide-se em plana, 43%; ondulada, 54%; e montanhosa, 3% (IBGE, 2002). Os dados climatológicos registrados durante o período experimental encontram-se no Quadro 1.

Quadro 1 – Dados climatológicos de temperatura média máxima (Tmax), temperatura média mínima (Tmin) e precipitação (Prec.) registrados nos meses referentes aos períodos experimentais

Mês/Ano	Tmax (°C)	Tmin (°C)	Prec. (mm)
Maio/2000	27,4	14,1	0,0
Junho/2000	27,3	12,4	0,0
Julho/2000	26,5	11,1	6,6
Agosto/2000	29,7	14,6	43,3
Março/2001	26,7	17,4	532,9
Abril/2001	28,5	16,9	132,6
Maio/2001	26,8	14,8	158,5
Agosto/2001	25,8	12,6	33,1
Setembro/2001	28,9	16,4	170,3

No primeiro experimento (época 1), foram utilizados nove novilhos mestiços, com média de massa corporal de  $295 \pm 30$  kg, fistulados no esôfago e no rúmen, para avaliar a cinética de degradação de nutrientes da extrusa. Os animais foram mantidos confinados em baias individuais e recebendo a ração experimental, composta pelos tratamentos: T<sub>20</sub> (suplemento com 20% de PNDR); T<sub>40</sub> (suplemento com 40% de PNDR); e T<sub>60</sub> (suplemento com 60% de PNDR) e feno de *Brachiaria brizantha* e mistura mineral\* *ad libitum*.

A formulação e a quantidade de cada suplemento oferecido aos animais encontram-se no Quadro 2, enquanto a composição química consta no Quadro 3. A composição química média da *Brachiaria brizantha* foi obtida de trabalhos consultados na literatura, e os suplementos foram calculados de forma a atender às exigências necessárias para ganhos médios de massa corporal de  $750 \text{ g dia}^{-1}$  (NRC, 1989).

O período experimental teve duração de 120 dias, devendo ser ressaltado que os três primeiros meses (maio, junho e julho/2000), correspondentes aos períodos um, dois e três, respectivamente, foram utilizados para coleta de amostra de extrusa e os meses de julho e agosto/2000, para realização dos ensaios de degradação *in situ*. As amostras de extrusa foram coletadas em uma área de pastagem de *Brachiaria brizantha*, que estava sendo utilizada por novilhas sob sistema rotacionado com cinco dias de pastejo e 45 dias de descanso.

\* Composição por kg do produto: P = 100 g; Ca = 160 g; Mg = 6 g; S = 15 g; I = 126 mg; Co = 180 mg; Cu = 1.600 mg; Mn = 1.250 mg; Se = 18 mg; e Zn = 6.000 mg.

Quadro 2 – Formulação e quantidade fornecida dos suplementos, na época 1

Ingredientes	Suplementos <sup>1/</sup>		
	T <sub>20</sub>	T <sub>40</sub>	T <sub>60</sub>
Fubá de milho	872	727	780
Glúten de milho	0	51	220
Farelo de soja	98	222	0
Uréia	30	0	0
Quantidade oferecida <sup>2/</sup>	2.989	2.985	3.005

<sup>1/</sup> g kg<sup>-1</sup> MS; e <sup>2/</sup> g MS dia<sup>-1</sup>.

Quadro 3 – Valores médios de proteína bruta (PB), proteína insolúvel em detergente neutro (PIDN), extrato etéreo (EE), matéria mineral (MM), fibra em detergente neutro (FDN), carboidratos totais (CT), carboidratos fibrosos (CF) e carboidratos não-fibrosos (CNF) dos suplementos e do feno de capim-brizanta, na época 1<sup>1/</sup>

Nutrientes <sup>2/</sup>	Suplementos			Feno
	T <sub>20</sub>	T <sub>40</sub>	T <sub>60</sub>	
PB	237	231	237	29
PIDN	9	10	13	4
PIDN <sup>3/</sup>	4	4	5	14
EE	32	29	30	4
MM	18	27	13	58
FDN	114	122	111	824
CT	793	734	741	909
CF	102	108	96	809
CF <sup>4/</sup>	13	15	13	89
CNF	691	626	645	100

<sup>1/</sup> Análises realizadas no Instituto Barreiro de Biotecnologia; <sup>2/</sup> Teores expressos em gkg<sup>-1</sup> MS; <sup>3/</sup> % da PB; e <sup>4/</sup> % dos CT.

No segundo experimento (época 2), foram utilizados os nove animais do primeiro experimento, com média de massa corporal de 380 ± 62 kg, para avaliação da cinética de degradação de nutrientes da extrusa. Os animais foram mantidos em pastagem cultivada de *Brachiaria brizantha*, onde receberam os tratamentos experimentais: T<sub>0</sub> (somente pasto), T<sub>40</sub> (pasto e suplemento com 40% de PNDR) e T<sub>60</sub> (pasto e suplemento com 60% de PNDR) e mistura mineral *ad libitum*, cuja composição consta no experimento conduzido na época 1.

A formulação e a quantidade fornecida de cada suplemento aos animais estão descritas no Quadro 4, enquanto a composição química consta no Quadro 5. A composição química média da *Brachiaria brizantha* foi obtida de trabalhos consultados na literatura, sendo os suplementos calculados de forma a atender às exigências necessárias para ganhos médios de massa corporal de 750 g dia<sup>-1</sup> (NRC, 1989).

Quadro 4 – Formulação e quantidade fornecida dos suplementos, na época 2

Ingredientes	Suplementos <sup>1/</sup>	
	T <sub>40</sub>	T <sub>60</sub>
Fubá de milho	476	890
Glúten de milho	0	108
Gérmen de milho	376	2
Farelo de soja	62	0
Farelo de trigo	84	0
Uréia	2	0
Quantidade oferecida <sup>2/</sup>	1.780	1800

<sup>1/</sup> g kg<sup>-1</sup> MS e <sup>2/</sup> g MS dia<sup>-1</sup>.

Quadro 5 – Valores médios de proteína bruta (PB), proteína insolúvel em detergente neutro (PIDN), extrato etéreo (EE), matéria mineral (MM), fibra em detergente neutro (FDN), carboidratos totais (CT), carboidratos fibrosos (CF) e carboidratos não-fibrosos (CNF) dos suplementos, na época 2<sup>1/</sup>

Nutrientes <sup>2/</sup>	Suplementos	
	T <sub>40</sub>	T <sub>60</sub>
PB	150	169
PIDN	16	10
PIDN <sup>3/</sup>	11	6
EE	38	35
MM	28	13
FDN	178	109
CT	786	782
CF	157	97
CF <sup>4/</sup>	20	12
CNF	629	685

<sup>1/</sup> Análises realizadas no Instituto Barreiro de Biotecnologia; <sup>2/</sup> teores expressos em g kg<sup>-1</sup> MS.; <sup>3/</sup> % da PB; e <sup>4/</sup> % dos CT.

O período experimental teve duração de 150 dias, devendo ser ressaltado que os três primeiros meses (março, abril e maio/2001), correspondentes aos períodos um, dois e três, respectivamente, foram utilizados para a coleta de extrusa e os meses de agosto a setembro/2001, para realização dos ensaios da cinética de degradação *in situ*. A pastagem de *Brachiaria brizantha* utilizada para coleta de extrusa estava sendo manejada com novilhas em sistema rotacionado com 3 dias de ocupação e 27 dias de descanso.

A coleta das extrusas, nas épocas 1 e 2, foi feita utilizando-se dois animais fistulados no esôfago por tratamento e por período, conforme técnica descrita por Pereira et al. (2002).

Nas análises efetuadas nos alimentos (extrusa e ingredientes dos suplementos), nas duas épocas do ano, o nitrogênio total (NT), o extrato etéreo (EE) e a matéria mineral (MM) obedeceram às recomendações do AOAC (1990); a proteína insolúvel em detergente neutro (PIDN) foi obtida conforme o procedimento padronizado por Licitra et al. (1996), e adaptado por Malafaia & Vieira (1997) e Malafaia et al. (1997); as concentrações de fibra em detergente neutro (FDN) foram analisadas segundo o procedimento descrito por Van Soest et al. (1991); e os teores de carboidratos fibrosos (CF) foram obtidos ao descontar da fibra os teores de proteína bruta e cinzas (Sniffen et al., 1992).

Os teores de carboidratos totais (CT) e os carboidratos não-fibrosos (CNF) foram estimados, segundo as equações descritas por Sniffen et al. (1992):  $CT (g\ kg^{-1}\ MS) = 1000 - NT \times 6,25 - EE - MM$ ; e  $CNF = CT - CF$ .

A determinação da degradabilidade *in situ* da fibra em detergente neutro (FDN), dos carboidratos fibrosos (CF) e da proteína insolúvel em detergente neutro (PIDN) da extrusa foi feita de acordo com a técnica descrita por Vieira et al. (1997). Em cada tempo de incubação foram utilizados aproximadamente 2g de amostra de extrusa seca em estufa de ventilação forçada a  $55 \pm 5\ ^\circ C$ , por 72 horas, que foi moída em peneira com crivo de 5 mm de diâmetro. Em seguida, o material foi acondicionado em sacos com dimensão de 7 x 14 cm, confeccionados em náilon com porosidade de 50  $\mu m$  de diâmetro, numerados externamente, previamente



lavados e secos em estufa de ventilação forçada a 105 °C por 24 horas, colocados no dessecador por uma noite e, então, pesados. Após serem fechados com liga látex e argolas metálicas, os sacos contendo as amostras foram fixados em diferentes elos de uma corrente de metal de 50 cm de comprimento, presa à tampa da cânula ruminal em uma das extremidades e amarradas por um cordão de poliamida. Na seqüência, as amostras de extrusa foram incubadas em três animais fistulados por tratamento e por período, nos tempos de 3, 6, 9, 12, 24, 36, 72 e 96 horas (Mertens, 1993).

Uma vez retirados do rúmen, nos intervalos de tempo descritos anteriormente, os sacos foram imersos em balde com água fria, para paralisação da atividade microbiana, lavados em água-corrente, fazendo-se movimentos circulares, até que a água ficasse ligeiramente clara. Os resíduos de cada tempo de incubação, por animal, tratamento e período, foram então armazenados em congelador a -5 °C, para posteriores análises.

Ao final do ensaio, os resíduos não-digeridos do material incubado foram submetidos à determinação de FDN, CF e PIDN. Os perfis de degradação da fibra em detergente neutro, dos carboidratos fibrosos e da proteína insolúvel em detergente neutro obtidos foram interpretados cineticamente, utilizando-se o modelo logístico decrescente proposto por Van Milgen et al. (1991), representado pela expressão:

$$R(t_i) = U \left[ \frac{c \exp(-pt_i) - p \exp(-ct_i)}{c - p} \right] + I + e_i \quad (1)$$

em que  $R(t_i)$ , ( $\text{g kg}^{-1}$  MS) corresponde ao resíduo de incubação, após determinado tempo,  $t_i$  (h);  $U$ , ( $\text{g kg}^{-1}$  MS) equivale à fração insolúvel, mas potencialmente degradável, não-disponível para digestão até o término do período de latência, que se torna gradualmente disponível à razão  $p$  ( $\text{h}^{-1}$ ); a fração  $U$  disponibilizada passa a ser denominada  $A$ , cuja taxa de digestão é descrita por  $c$  ( $\text{h}^{-1}$ ); e  $I$  ( $\text{g kg}^{-1}$  MS) representa a fração indegradável, que não mais se altera em função do tempo, por ação microbiana, ou seja, quando  $t_i \rightarrow \infty$ ;  $e_i$  refere-se ao erro aleatório. Nas situações em que  $p$  tendeu a  $c$ , o modelo foi reparametrizado, aplicando-se a regra de L'Hôpital, obtendo-se a equação descrita por Van Milgen et al. (1991):

$$R(t_i) = U(1 + \lambda t_i) \exp(-\lambda t_i) + I + e_i \quad (2)$$

em que  $\lambda$  corresponde à taxa de degradação ( $h^{-1}$ ) quando  $p$  tende a  $c$ .

Os parâmetros ( $U$ ,  $I$ ,  $c$  e  $p$ ) foram estimados por meio do algoritmo de Marquardt, utilizando-se o método iterativo de mínimos quadrados não-lineares do programa SAS (1997), conforme sugerido por Van Milgen et al. (1991).

As frações de fibra em detergente neutro indigerível ( $FDN_i$ ), carboidrato fibroso digerível ( $CF_d$ ) e indigerível ( $CF_i$ ), proteína digerível insolúvel em detergente neutro ( $PIDN_d$ ) e indigerível ( $PIDN_i$ ), expressas em  $g\ kg^{-1}$  MS, foram estimadas de acordo com as equações:

$$FDN_i = I_p \times FDN \quad (3)$$

$$CF_d = U_p \times CF \quad (4)$$

$$CF_i = I_p \times CF \quad (5)$$

$$PIDN_d = U_p \times PIDN \quad (6)$$

$$PIDN_i = I_p \times PIDN \quad (7)$$

em que  $U_p$  e  $I_p$  representam, respectivamente, as estimativas padronizadas  $U/(U+I)$  e  $I/(U+I)$  (Vieira et al., 1997).

As degradabilidades ruminais efetivas (DR) do  $CF_d$  e da  $PIDN_d$  foram estimadas por intermédio da função recíproca da equação 1, descrita por Vieira et al. (1997), e definidas pelas expressões:

$$DR(CF_d),\ gkg^{-1}MS = CF_d \frac{cp}{(c + k_p)(p + k_p)} \quad (8)$$

$$DR(PIDN_d),\ gkg^{-1}MS = PIDN_d \frac{cp}{(c + k_p)(p + k_p)} \quad (9)$$

em que  $k_p$  ( $h^{-1}$ ) corresponde à taxa de passagem da digesta no rúmen-retículo, segundo a expressão:  $k_p = 1 / TMRR$ , em que TMRR foi obtida conforme descrito no artigo 2 sobre cinética de passagem.

Os efeitos de repleção ruminal (RR) total e parcial das frações potencialmente degradável, RR(U), e indegradável, RR(I), da fibra foram calculados com base nas estimativas padronizadas dos parâmetros  $U_p$  e  $l_p$ . De acordo com Vieira et al. (1997), a RR pode ser descrita pela expressão:

$$RR = \frac{U_p(c + p + k_p)}{(c + k_p)(p + k_p)} + \frac{l_p}{k_p} \quad (10)$$

em que RR representa o efeito de repleção ruminal total, expresso em horas (h). O primeiro termo da equação anterior corresponde ao nível de repleção ruminal da fração potencialmente degradável, enquanto o segundo, à fração indegradável.

Seguindo o mesmo raciocínio de reparametrização de  $R(t_i)$ , ou seja, quando  $p$  tende a  $c$ , os cálculos referentes a DR e RR foram obtidos pelas expressões (Vieira et al., 1997):

$$DR (CF_d) = CF_d \frac{\lambda^2}{(\lambda + k_p)^2} \quad (11)$$

$$DR (PIDN_d) = PIDN_d \frac{\lambda^2}{(\lambda + k_p)^2} \quad (12)$$

$$RR = \frac{U_p(2\lambda + k_p)}{(\lambda + k_p)^2} + \frac{l_p}{k_p} \quad (13)$$

Admitindo-se que a quantidade de matéria que desaparece no rúmen é diretamente proporcional à massa microbiana formada, pode-se estimar a taxa de crescimento dos microrganismos a partir do consumo de substrato. Neste sentido, a taxa de crescimento específico dos microrganismos sobre o  $CF_d$  foi estimada de acordo com as expressões descritas por Van Milgen et al. (1991) e Vieira et al. (1997, 2000b). Assim, empregando a definição de Schofield et al. (1994), tem-se que:

$$S_{gr} = \frac{cp \left\{ \exp \left[ \frac{p(\ln p - \ln c)}{c - p} \right] - \exp \left[ \frac{c(\ln p - \ln c)}{c - p} \right] \right\}}{c - p} \quad (14)$$

em que  $S_{gr}$  ( $h^{-1}$ ) corresponde à taxa de crescimento específico dos microrganismos sobre a fração  $CF_d$ .

Nos casos em que as estimativas de  $\rho$  tenderam a  $c$  foi feita uma reparametrização, com a aplicação da regra de L'Hôpital, da equação 7 de Vieira et al. (2000b), obtendo-se a taxa de crescimento máxima dos microrganismos sobre a fração  $CF_d$ , ou seja,  $\mu_{m_2} = U\lambda^2 t_i \exp(-\lambda t_i)$ , e da equação 10 de Vieira et al. (1997), chegando-se à expressão  $t_i = 1/\lambda$ . Finalmente, utilizando a equação 9 descrita por Vieira et al. (2000b), tem-se:

$$S_{gr} = \lambda \exp(-1) \quad (15)$$

em que  $\dagger$  corresponde à abscissa ao ponto de inflexão, de acordo com a expressão descrita por Vieira et al. (1997).

As variáveis  $FDN_i$ ,  $RR$ ,  $RR(U)$ ,  $RR(I)$ ,  $CF_d$ ,  $CF_i$ ,  $DR$  ( $CF_d$ ),  $S_{gr}$ ,  $PIDN_d$ ,  $PIDN_i$  e  $DR$  ( $PIDN_d$ ) foram avaliadas quanto à dispersão dos dados e verificadas para o ajustamento ao modelo sugerido por Brody (1945) e por Kleiber (1975), definido pela equação alométrica:

$$Y_{ijk} = \alpha M_{ijk}^\beta + e_{ijk} \quad (16)$$

em que  $Y_{ijk}$  corresponde à variável dependente;  $\alpha \neq 0$  é uma constante inerente ao modelo;  $\beta$  representa o parâmetro que estabelece a proporcionalidade entre as variáveis dependente e independente;  $M_{ijk}$  corresponde à massa corporal de cada animal no experimento; e  $e_{ijk}$  corresponde ao erro aleatório. A tomada de decisão para correção ou não da variável dependente foi realizada, considerando as hipóteses:

$$H_0: \beta = 0$$

$$H_a: \beta \neq 0$$

Somente nos casos em que os intervalos de confiança assintóticos para o  $\beta$ , obtidos por meio do programa SAS (1997), não continham o valor zero (rejeição de  $H_0$ ), procedeu-se ao ajuste dos dados, de acordo com a expressão:

$$Y_{ijk} \text{ (ajustado)} = \frac{Y_{ijk}}{M_{ijk}^{\hat{\beta}}} \quad (17)$$

Os dados referentes às variáveis descritas anteriormente, em ambas as épocas, foram analisados mediante o uso do seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ijk} = \mu + t_i + a_{ij} + p_k + sp_{ik} + e_{ijk} \quad (18)$$

em que  $Y_{ijk}$  é o valor referente ao  $j$ -ésimo animal dentro do  $i$ -ésimo nível de PNDR no suplemento, no  $k$ -ésimo período;  $\mu$  corresponde à constante inerente ao modelo;  $t_i$  corresponde ao efeito do  $i$ -ésimo nível de PNDR no suplemento, sendo  $i = 20, 40$  e  $60\%$  PNDR (época 1) e  $i = 0, 40$  e  $60\%$  PNDR (época 2);  $a_j$  corresponde ao efeito do  $j$ -ésimo animal dentro do  $i$ -ésimo nível de PNDR no suplemento, com  $j = 1, 2$  e  $3$ ;  $p_k$  corresponde ao efeito do  $k$ -ésimo período, sendo  $k = \text{maio, junho e julho}$  (época 1) e  $\text{março, abril e maio}$  (época 2);  $sp_{ik}$  corresponde ao efeito da interação entre o  $i$ -ésimo nível de PNDR no suplemento e o  $k$ -ésimo período; e  $e_{ijk}$  representa o erro aleatório, associado a cada observação, suposto normal e independentemente distribuído, com média zero e varância. Para efeito de análise estatística, na época 2, o nível zero foi considerado o pasto exclusivo + mistura mineral *ad libitum* e nos demais tratamentos, os níveis de PNDR no suplemento.

As variáveis estudadas foram interpretadas estatisticamente por análise de variância e de regressão. Para o fator quantitativo (tratamento), os modelos foram escolhidos com base na significância dos coeficientes de regressão, utilizando-se o teste de F a 0,05 de probabilidade, enquanto para o fator qualitativo (período) as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, adotando-se o nível de 0,05 de probabilidade. Além disto, utilizou-se a estatística  $t$  para construção dos intervalos de confiança para os  $\beta$ 's, considerando o nível de confiança de 0,95.

## Resultados e Discussão

O estudo da degradação de alimentos, principalmente das plantas forrageiras, é de suma importância, visto que proporciona informações que

podem ser utilizadas para detectar possíveis interações dos alimentos componentes de uma ração e selecionar ingredientes da dieta que seriam compatíveis para maximizar a síntese de proteína microbiana.

### **Experimento 1: Época 1**

O estágio vegetativo da planta é considerado um dos fatores mais importantes a influenciar o seu valor nutritivo, uma vez que o crescimento das plantas implica a síntese de parede celular, com deposição de moléculas orgânicas não-nitrogenadas (celulose, hemicelulose, lignina etc.), acarretando, assim, redução no teor de proteína bruta (Van Soest, 1994; Cabral et al., 2000). Tal comportamento pode ser visualizado no Quadro 6. A mudança do período 1 para os períodos 2 e 3 resultou em redução do conteúdo protéico e de carboidratos não-fibrosos e em aumento nos teores de fibra em detergente neutro, carboidratos totais e carboidratos fibrosos, em virtude do crescimento das estruturas na parede celular vegetal. Desenvolvendo estudos na mesma área experimental, Oliveira (2001) verificou que no período 1, referente ao mês de maio, havia material forrageiro remanescente do período das águas, com menor proporção de colmos, e que com o avanço da estação seca houve queda na porcentagem de folhas em relação aos colmos e aumento na proporção de material senescente. Tal fato demonstra que a maior participação de folhas no período 1 contribuiu para a melhoria do valor nutritivo da forragem, reforçando os resultados encontrados por Euclides et al. (1998) e Paciullo et al. (2001).

Trabalhando com forrageiras tropicais, Malafaia et al. (1997) relataram para o capim-brizanta valores de PB, EE, MM, CNF de 75, 7, 64 e 119 g kg<sup>-1</sup> MS, respectivamente, menores que os registrados neste trabalho, na época 1. Contudo, valores maiores de PIDN, FDN, CT e CF foram encontrados no estudo dos autores, ou seja, de 46, 805, 854 e 735 g kg<sup>-1</sup>MS. Esta discrepância pode ser justificada pelo fato de os autores terem utilizado amostras da forrageira colhidas manual e integralmente, ou seja, incluindo folhas e caules; entretanto, existem diferenças entre a composição química do material colhido diretamente e a do material colhido

Quadro 6 – Valores médios de proteína bruta (PB), proteína insolúvel em detergente neutro (PIDN), proteína indigerível insolúvel em detergente neutro (PIDN<sub>i</sub>) e digerível (PIDN<sub>d</sub>), extrato etéreo (EE), matéria mineral (MM), fibra em detergente neutro (FDN), FDN indigerível (FDN<sub>i</sub>), carboidratos totais (CT), carboidratos fibrosos (CF), CF indigeríveis (CF<sub>i</sub>) e digeríveis (CF<sub>d</sub>) e carboidratos não-fibrosos (CNF) nas amostras de extrusa, na época 1

Nutrientes <sup>1/</sup>	Tratamentos	Períodos		
		1	2	3
PB	T <sub>20</sub>	123	89	95
	T <sub>40</sub>	124	93	89
	T <sub>60</sub>	129	87	86
PIDN <sup>2/</sup>	T <sub>20</sub>	34 (28)	32 (36)	30 (32)
	T <sub>40</sub>	24 (19)	35 (38)	39 (44)
	T <sub>60</sub>	28 (22)	31 (36)	31 (36)
PIDN <sub>i</sub> <sup>2/</sup>	T <sub>20</sub>	8 (7)	10 (11)	12 (13)
	T <sub>40</sub>	7 (6)	9 (10)	14 (16)
	T <sub>60</sub>	13 (10)	12 (14)	10 (12)
PIDN <sub>d</sub> <sup>2/</sup>	T <sub>20</sub>	26 (21)	22 (25)	18 (19)
	T <sub>40</sub>	17 (14)	26 (28)	25 (28)
	T <sub>60</sub>	15 (12)	19 (21)	21 (24)
EE	T <sub>20</sub>	19	18	19
	T <sub>40</sub>	19	19	17
	T <sub>60</sub>	18	19	17
MM	T <sub>20</sub>	104	130	125
	T <sub>40</sub>	127	119	117
	T <sub>60</sub>	105	120	112
FDN	T <sub>20</sub>	629	681	714
	T <sub>40</sub>	601	671	700
	T <sub>60</sub>	601	705	670
FDN <sub>i</sub> <sup>3/</sup>	T <sub>20</sub>	133 (21)	222 (33)	284 (40)
	T <sub>40</sub>	138 (23)	187 (28)	221 (32)
	T <sub>60</sub>	186 (31)	249 (35)	257 (38)
CT	T <sub>20</sub>	753	762	760
	T <sub>40</sub>	730	769	777
	T <sub>60</sub>	748	773	785
CF <sup>4/</sup>	T <sub>20</sub>	579 (77)	618 (81)	655 (86)
	T <sub>40</sub>	551 (75)	615 (80)	642 (83)
	T <sub>60</sub>	558 (75)	647 (84)	582 (74)
CF <sub>i</sub> <sup>4/</sup>	T <sub>20</sub>	116 (15)	191 (25)	262 (34)
	T <sub>40</sub>	111 (15)	178 (23)	204 (26)
	T <sub>60</sub>	164 (22)	212 (27)	197 (25)
CF <sub>d</sub> <sup>4/</sup>	T <sub>20</sub>	463 (61)	427 (56)	393 (52)
	T <sub>40</sub>	440 (60)	437 (57)	438 (56)
	T <sub>60</sub>	394 (53)	435 (56)	385 (49)
CNF	T <sub>20</sub>	174	144	105
	T <sub>40</sub>	179	154	135
	T <sub>60</sub>	190	126	203

<sup>1/</sup> g kg<sup>-1</sup> MS; <sup>2/</sup> valores entre parênteses referem-se à porcentagem da PB (média de três repetições); <sup>3/</sup> valores entre parênteses referem-se à porcentagem da FDN (média de três repetições); e <sup>4/</sup> valores entre parênteses referem-se à porcentagem dos CT (média de três repetições).

pelo animal durante o pastejo (Sanchez et al., 1993). Os valores de CF (% CT) encontrados neste trabalho, de 74 a 86% (Quadro 6), estão próximos aos da faixa descrita na literatura para forrageiras, que normalmente apresentam de 60 a 80% de seus carboidratos como sendo componentes de parede celular vegetal (Van Soest, 1994).

O consumo voluntário de nutrientes digestíveis pelos bovinos pode ser limitado pelas características físico-químicas das forragens, como altos conteúdos de fibra e baixos teores de nitrogênio. Milford & Minson (1966) demonstraram que o consumo de matéria seca foi influenciado positivamente pelo teor protéico da forragem até o nível de 70 g kg<sup>-1</sup>MS, permanecendo inalterado para teores de proteína acima desse valor. Enquanto a concentração de proteína da forrageira avaliada no presente trabalho (Quadro 6) favorece o consumo voluntário, os teores de fibra observados representam condições negativas para o consumo. A fibra representa a fração química do volumoso que guarda a mais estreita correlação com o consumo, devendo ser ressaltado que valores de constituintes de parede celular acima de 550-600 g kg<sup>-1</sup>MS correlacionam-se negativamente com o consumo de forragem (Van Soest, 1965; Mertens, 1987; Minson, 1990; Dove, 1996), o que acarreta maior tempo de retenção da digesta no rúmen, promovendo limitações de ordem física na ingestão (Minson, 1990; Paterson et al., 1994), influenciando, assim, a produção animal.

Os dados referentes à cinética de degradação da fibra em detergente neutro estão apresentados nos Quadros 7 e 8. Constatou-se efeito de interação entre os níveis de PNDR no suplemento e o período experimental para as variáveis fibra em detergente neutro indigestível, FDN<sub>i</sub> e repleção ruminal da fração potencialmente degradável, RR(U).

A FDN<sub>i</sub> apresentou comportamento quadrático, em função dos níveis de PNDR, nos três períodos (Quadros 7 e 8), com estimativa de valores mínimos de 131, 182 e 212 g kg<sup>-1</sup> MS, correspondendo aos níveis de PNDR de 27,26, 38,04 e 44,17%, nos períodos 1, 2 e 3, respectivamente. O período experimental exerceu influência sobre a FDN<sub>i</sub> nos diferentes níveis de PNDR, verificando-se o maior FDN<sub>i</sub> no período 3 (T<sub>20</sub> e T<sub>40</sub>) e o menor no período 1 (T<sub>60</sub>). A RR(U) não foi afetada pelos tratamentos dentro de cada



Quadro 7 – Níveis descritivos dos testes (valores P) realizados para verificação dos efeitos de tratamentos (t), períodos (p), interação (tp), tratamento dentro de período (t/p) e período dentro de tratamento (p/t) da cinética de degradação, na época 1

Variável	T	QMR(a)	CV <sub>1</sub> <sup>1/</sup>	P	tp	QMR(b)	CV <sub>2</sub> <sup>2/</sup>	t/p <sub>1</sub>		t/p <sub>2</sub>		t/p <sub>3</sub>		p/t <sub>1</sub>	p/t <sub>2</sub>	p/t <sub>3</sub>
								$\hat{b}_1$	$\hat{b}_2$	$\hat{b}_1$	$\hat{b}_2$	$\hat{b}_1$	$\hat{b}_2$			
Fibra em Detergente Neutro																
FDN <sub>i</sub>	5,3x10 <sup>-3</sup>	386,1599	9,42	2,2x10 <sup>-12</sup>	2,2x10 <sup>-6</sup>	45,95729	3,25	6,9x10 <sup>-5</sup>	3,0x10 <sup>-2</sup>	1,8x10 <sup>-2</sup>	3,3x10 <sup>-5</sup>	1,8x10 <sup>-2</sup>	2,8x10 <sup>-5</sup>	3,6x10 <sup>-8</sup>	1,8x10 <sup>-8</sup>	1,5x10 <sup>-11</sup>
RR	3,2x10 <sup>-1</sup>	51,17107	26,48	1,1x10 <sup>-1</sup>	n.s. <sup>3/</sup>	8,062386	10,51	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RR(U)	n.s.	5,004753	20,44	n.s.	1,7x10 <sup>-2</sup>	0,474305	6,29	n.s.	2,5x10 <sup>-1</sup>	1,4x10 <sup>-1</sup>	n.s.	n.s.	2,8x10 <sup>-1</sup>	2,6x10 <sup>-1</sup>	1,5x10 <sup>-2</sup>	1,2x10 <sup>-1</sup>
RR(l)	2,0x10 <sup>-1</sup>	27,92207	32,88	9,9x10 <sup>-2</sup>	n.s.	5,771522	14,95	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Carboidratos Fibrosos																
CF <sub>i</sub>	6,3x10 <sup>-3</sup>	151,8062	6,78	4,5x10 <sup>-12</sup>	6,1x10 <sup>-8</sup>	42,22677	3,58	3,6x10 <sup>-6</sup>	2,2x10 <sup>-4</sup>	8,7x10 <sup>-3</sup>	1,6x10 <sup>-3</sup>	3,9x10 <sup>-8</sup>	7,2x10 <sup>-4</sup>	3,2x10 <sup>-6</sup>	2,0x10 <sup>-9</sup>	1,4x10 <sup>-11</sup>
CF <sub>d</sub>	3,0x10 <sup>-3</sup>	151,8062	2,91	1,1x10 <sup>-6</sup>	5,4x10 <sup>-7</sup>	42,22677	1,53	1,7x10 <sup>-8</sup>	8,0x10 <sup>-2</sup>	3,0x10 <sup>-1</sup>	n.s.	2,7x10 <sup>-1</sup>	3,6x10 <sup>-7</sup>	1,4x10 <sup>-6</sup>	n.s.	7,1x10 <sup>-8</sup>
S <sub>gr</sub>	n.s.	0,000121	27,48	1,6x10 <sup>-5</sup>	1,2x10 <sup>-2</sup>	2,53x10 <sup>-5</sup>	12,57	n.s.	7,5x10 <sup>-2</sup>	9,2x10 <sup>-2</sup>	2,7x10 <sup>-1</sup>	5,8x10 <sup>-2</sup>	n.s.	2,5x10 <sup>-3</sup>	2,3x10 <sup>-4</sup>	8,0x10 <sup>-4</sup>
DR(CF <sub>d</sub> )	4,0x10 <sup>-2</sup>	661,4734	8,88	3,5x10 <sup>-6</sup>	2,2x10 <sup>-3</sup>	262,787	5,60	9,4x10 <sup>-3</sup>	7,3x10 <sup>-2</sup>	n.s.	3,4x10 <sup>-2</sup>	3,8x10 <sup>-3</sup>	3,2x10 <sup>-3</sup>	1,1x10 <sup>-1</sup>	3,4x10 <sup>-3</sup>	2,2x10 <sup>-6</sup>
Proteína Insolúvel em Detergente Neutro																
PIDN <sub>i</sub>	2,7x10 <sup>-1</sup>	4,672598	20,50	6,4x10 <sup>-2</sup>	8,0x10 <sup>-3</sup>	3,12935	16,77	7,9x10 <sup>-3</sup>	1,9x10 <sup>-2</sup>	2,5x10 <sup>-1</sup>	2,4x10 <sup>-1</sup>	3,1x10 <sup>-1</sup>	4,9x10 <sup>-2</sup>	1,4x10 <sup>-1</sup>	2,5x10 <sup>-3</sup>	1,3x10 <sup>-1</sup>
PIDN <sub>d</sub>	7,4x10 <sup>-3</sup>	4,672598	10,33	8,5x10 <sup>-3</sup>	2,4x10 <sup>-5</sup>	3,12935	8,45	1,1x10 <sup>-6</sup>	1,7x10 <sup>-2</sup>	2,9x10 <sup>-2</sup>	2,9x10 <sup>-4</sup>	9,0x10 <sup>-2</sup>	7,6x10 <sup>-4</sup>	5,8x10 <sup>-3</sup>	5,5x10 <sup>-5</sup>	3,8x10 <sup>-4</sup>
DR(P <sub>d</sub> ) <sup>4/</sup>	7,4x10 <sup>-2</sup>	8,084163	19,32	3,2x10 <sup>-4</sup>	1,6x10 <sup>-6</sup>	1,29044	7,72	4,6x10 <sup>-6</sup>	2,1x10 <sup>-1</sup>	n.s.	1,6x10 <sup>-3</sup>	6,9x10 <sup>-2</sup>	1,2x10 <sup>-2</sup>	2,6x10 <sup>-5</sup>	8,5x10 <sup>-6</sup>	1,0x10 <sup>-4</sup>

<sup>1/</sup> CV<sub>1</sub> = 100x√QMR(a)/μ̂; e <sup>2/</sup> CV<sub>2</sub> = 100x√QMR(b)/μ̂; <sup>3/</sup> n.s. = não-significativo, usado quando F < 1; e <sup>4/</sup> DR(P<sub>d</sub>) corresponde à degradação ruminal da proteína digestível insolúvel em detergente neutro.

Quadro 8 – Valores médios da cinética de degradação da fibra em detergente neutro e estimativas pontuais e por intervalo dos parâmetros da regressão, na época 1

Períodos	Tratamentos			Equações	IC( $\beta_i$ ) <sub>0,95</sub> <sup>1/</sup>		
	T <sub>20</sub>	T <sub>40</sub>	T <sub>60</sub>		b <sub>0</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>
				FDN <sub>i</sub>			
P <sub>1</sub>	133 c <sup>2/</sup>	138 c	186 b	$\hat{Y} = 170 - 2,89X + 5,3 \times 10^{-2} X^2$	(103; 237)	(-6,68; 0,90)	(5,8x10 <sup>-3</sup> ; 1,0x10 <sup>-1</sup> )
P <sub>2</sub>	222 b	187 b	249 a	$\hat{Y} = 356 - 9,13X + 5,3 \times 10^{-2} X^2$	(289; 423)	(-12,92; -5,34)	(7,6x10 <sup>-2</sup> ; 1,7x10 <sup>-1</sup> )
P <sub>3</sub>	284 a	221 a	257 a	$\hat{Y} = 446 - 10,60X + 1,2 \times 10^{-1} X^2$	(379; 513)	(-14,39; -6,81)	(7,7x10 <sup>-2</sup> ; 1,7x10 <sup>-1</sup> )
				RR			
	Regressão ajustada para tratamentos			$\hat{Y} = 27,02$	(23,65; 30,38)	-	-
				RR(U)			
P <sub>1</sub>	11,24 a	9,94 b	11,03 a	$\hat{Y} = 10,74$	(9,75; 11,73)	-	-
P <sub>2</sub>	9,99 a	11,05 ab	11,76 a	$\hat{Y} = 10,93$	(9,95; 11,92)	-	-
P <sub>3</sub>	10,77 a	11,90 a	10,83 a	$\hat{Y} = 11,16$	(10,18; 12,15)	-	-
				RR(I)			
	Regressão ajustada para tratamentos			$\hat{Y} = 16,07$	(13,58; 18,56)	-	-

<sup>1/</sup> IC( $\beta_i$ )<sub>0,95</sub> corresponde ao intervalo de confiança para  $\beta_i$ , com nível de confiança de 0,95; e <sup>2/</sup> médias seguidas de letras diferentes na coluna, diferem pelo teste de Tukey (P < 0,05).

período, cujos valores médios foram de 10,74, 10,93 e 11,16 horas, para os períodos 1, 2 e 3, respectivamente; contudo, constatou-se diferença significativa somente entre os períodos 1 e 3, para  $T_{40}$ . No caso da repleção ruminal total, RR, e da repleção ruminal da fração indegradável, RR(I), não foram verificadas influências dos tratamentos, apresentando valores médios de 27,02 e 16,07 horas, respectivamente (Quadro 8). Essa ausência de efeito é concordante com McCollum & Galyean (1985) e Judkins et al. (1987), que concluíram que em novilhos mantidos em pastagens com teores protéicos superiores a  $60 \text{ g kg}^{-1}\text{MS}$ , como observado neste trabalho (Quadro 6), a suplementação protéica não afetou a repleção ruminal.

A separação do efeito da repleção ruminal de cada fração (U e I), de acordo com Waldo et al. (1972), permite, de forma conjunta, avaliar os efeitos de interação das cinéticas de passagem e de digestão sobre a capacidade de enchimento no compartimento ruminal (Van Soest, 1994; Vieira et al., 1997). Além disto, outras variáveis quantitativas importantes nos alimentos podem ser estimadas, como a disponibilidade energética e a disponibilidade intestinal de proteína metabolizável, permitindo, assim, a predição do desempenho animal a partir de condições dietéticas conhecidas (Vieira et al., 2000b). No presente estudo (Quadro 8), o valor médio de RR(I) foi, aproximadamente, 47% maior que RR(U), durante a época 1; esta situação também pode ser observada nos resultados apresentados por Vieira et al. (2000b), em área de pastagens naturais da Zona da Mata de Minas Gerais, ou seja, 110%. Avaliando o efeito da repleção ruminal em capim-elefante, em diferentes estádios de crescimento, Vieira et al. (1997) observaram que a fração indegradável da fibra respondeu por 32 e 79% da repleção total, aos 61 e 124 dias de idade da forrageira.

O consumo de matéria seca de forrageiras temperadas pode ser estimado de acordo com o modelo proposto por Mertens (1987), que se baseia no conteúdo de fibra total como fator limitante, ou seja, responsável pelo efeito de repleção ruminal. Contudo, no caso de forrageiras tropicais, Vieira et al. (1997) especularam que o resíduo indigerível da fibra poderia ser usado na predição do consumo, em substituição à fibra propriamente dita, pelo fato de o resíduo indigerível, representado pela fração I, exercer maior efeito na repleção ruminal total. Embora existam evidências de adaptação do animal ao aumento

no conteúdo de componentes indigestíveis na dieta por intermédio da ampliação do volume e compartimento da digesta residente no rúmen (Schettini et al., 1999, citados por Kabeya et al., 2002), limites são definidos, além dos quais o consumo é reduzido permanentemente (Van Soest, 1994). A proporção de FDN<sub>i</sub>, em relação à fibra total, variou de 21 a 40% (Quadros 6 e 8), incluindo o valor citado por Allen & Mertens (1988), de 33%. Desta forma, a maior concentração de FDN<sub>i</sub> observada no período 3, no mês de julho, pode estar associada ao aumento do componente colmo (Oliveira, 2001).

Esses resultados indicam a seletividade exercida pelos animais sob pastejo, os quais preferem folhas verdes e rejeitam caule e material morto (Ellis, 1978; Minson, 1990). Além disto, o maior consumo de folhas em relação aos colmos é atribuído à mais rápida digestão e ao menor tempo de retenção no rúmen (Blaser & Novaes, 1990, citados por Pereira et al., 2002).

Os dados referentes à cinética de degradação dos carboidratos fibrosos estão apresentados nos Quadros 7 e 9. Verificou-se efeito de interação entre os níveis de PNDR e o período para as variáveis carboidratos fibrosos indigeríveis, CF<sub>i</sub>; carboidratos fibrosos digeríveis, CF<sub>d</sub>; taxa de crescimento específico dos microrganismos sobre a fração B<sub>2</sub>, Sgr; e degradabilidade ruminal efetiva da fração B<sub>2</sub>, DR(B<sub>2</sub>).

O CF<sub>i</sub> apresentou comportamento quadrático nos três períodos, com valores mínimos de 106, 176 e 194 g kg<sup>-1</sup>MS, correspondendo aos níveis de PNDR de 31,81, 35,69 e 52,73%, respectivamente, para os períodos 1, 2 e 3. No caso de períodos dentro de cada nível de PNDR, constatou-se superioridade do período 3 em relação aos demais, para T<sub>20</sub> e T<sub>40</sub>, enquanto maior valor foi observado no período 2 para o T<sub>60</sub> (Quadro 9). No sistema proposto por Sniffen et al. (1992), o CF<sub>i</sub>, ou C, corresponde à fração indegradável da fibra do alimento, corrigida para o seu conteúdo de cinza e proteína, sendo considerada indisponível em nível de rúmen e intestino (Sniffen et al., 1992). A estimativa dessa fração 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 e 3 (Van Soest, 1994; Malafaia et al., 1998). Contudo, Vieira et al. (2000b) recomendam que a obtenção da fração C deve basear-se em métodos biológicos diretos, utilizando, por exemplo, os ensaios de degradação *in situ*, os quais compõem a metodologia relativa à cinética de

Quadro 9 – Valores médios da cinética de degradação dos carboidratos fibrosos e estimativas pontuais e por intervalo dos parâmetros da regressão, na época 1

Períodos	Tratamentos			Equações	IC( $\beta_i$ ) <sub>0,95</sub> <sup>1/</sup>		
	T <sub>20</sub>	T <sub>40</sub>	T <sub>60</sub>		b <sub>0</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>
CF <sub>i</sub>							
P <sub>1</sub>	116 c <sup>2/</sup>	111 c	164 c	$\hat{Y} = 179 - 4,58X + 7,2 \times 10^{-2} X^2$	(132; 226)	(-7,24; -1,92)	( $3,9 \times 10^{-2}$ ; $1,1 \times 10^{-1}$ )
P <sub>2</sub>	191 b	178 b	212 a	$\hat{Y} = 250 - 4,14X + 5,8 \times 10^{-2} X^2$	(203; 297)	(-6,80; -1,47)	( $2,5 \times 10^{-2}$ ; $9,1 \times 10^{-2}$ )
P <sub>3</sub>	262 a	204 a	196 b	$\hat{Y} = 372 - 6,75X + 6,4 \times 10^{-2} X^2$	(325; 419)	(-9,41; -4,08)	( $3,1 \times 10^{-2}$ ; $9,7 \times 10^{-2}$ )
CF <sub>d</sub>							
P <sub>1</sub>	463 a	440 a	394 b	$\hat{Y} = 502 - 1,74X$	(486; 519)	(-2,12; -1,36)	-
P <sub>2</sub>	427 b	437 a	435 a	$\hat{Y} = 433$	(427; 439)	-	-
P <sub>3</sub>	393 c	438 a	385 b	$\hat{Y} = 251 + 9,56X - 1,2 \times 10^{-1} X^2$	(204; 298)	(6,89; 12,22)	( $-1,6 \times 10^{-1}$ ; $-8,9 \times 10^{-2}$ )
S <sub>gr</sub>							
P <sub>1</sub>	0,0486 a	0,0576 a	0,0465 a	$\hat{Y} = 0,0509$	(0,0456; 0,0562)	-	-
P <sub>2</sub>	0,0391 a	0,0396 b	0,0281 b	$\hat{Y} = 0,0356$	(0,0303; 0,0409)	-	-
P <sub>3</sub>	0,0271 b	0,0338 b	0,0397 a	$\hat{Y} = 0,0335$	(0,0282; 0,0388)	-	-
DR(CF <sub>d</sub> )							
P <sub>1</sub>	342 a	345 a	295 a	$\hat{Y} = 374 - 1,18X$	(338; 411)	(-2,03; -0,33)	-
P <sub>2</sub>	280 b	306 b	268 a	$\hat{Y} = 188 + 6,18X - 8,1 \times 10^{-2} X^2$	(83; 294)	(0,21; 12,15)	( $-1,5 \times 10^{-1}$ ; $-7,0 \times 10^{-3}$ )
P <sub>3</sub>	214 c	289 b	268 a	$\hat{Y} = 44 + 10,91X - 1,2 \times 10^{-1} X^2$	(-61; 149)	(4,93; 16,88)	( $-1,9 \times 10^{-1}$ ; $-4,6 \times 10^{-2}$ )

<sup>1/</sup> IC( $\beta_i$ )<sub>0,95</sub> corresponde ao intervalo de confiança para  $\beta_i$ , com nível de confiança de 0,95; e <sup>2/</sup> Médias seguidas de letras diferentes na coluna, diferem pelo teste de Tukey (P < 0,05).

degradação da fibra no presente trabalho. A maior concentração dessa fração nos períodos 3 ( $T_{20}$  e  $T_{40}$ ) e 2 ( $T_{60}$ ) pode estar associada ao aumento de colmo e material senescente (Oliveira, 2001). Tal fato é esperado, uma vez que com o aumento do estágio de maturidade das gramíneas tropicais há elevação na proporção de colmos, que apresentam maior conteúdo de parede celular, e com o seu espessamento e a sua deposição de lignina tende a aumentar a fração indigestível, reduzindo, desta forma, a fração potencialmente digerível (Wilson, 1994; Wilson & Mertens, 1995). Malafaia et al. (1998) verificaram para o capim-brizanta, cortado aos 60 dias de rebrota, valor da fração C de 161 g  $kg^{-1}$ MS; similar à média obtida neste estudo (Quadros 6 e 9), enquanto Vieira et al. (2000b), em pastagens naturais, na estação seca, relataram valor de 296 g  $kg^{-1}$ MS.

O incremento da fração C (Quadros 6 e 9) e a redução dos CNF (Quadro 6) implicam a diminuição da disponibilidade energética para os microrganismos que fermentam carboidratos fibrosos e não-fibrosos, o que poderia influir na eficiência de síntese microbiana e, ainda, levar a perdas de nitrogênio no rúmen, se forem utilizadas fontes protéicas de rápida degradação ruminal. Além disto, em virtude de sua característica de indigestibilidade, essa fração exerce efeito na repleção ruminal (Quadro 8), podendo limitar a ingestão de matéria seca em animais de elevada demanda nutricional (Van Soest, 1994).

O  $CF_d$  apresentou comportamento linear decrescente no período 1 e quadrático, no período 3, com valor máximo de 441 g  $kg^{-1}$ MS, correspondendo ao nível de 39,83% de PNDR; e não sofreu influência dos tratamentos no período 2, cujo valor médio foi de 433 g  $kg^{-1}$ MS. No caso de períodos dentro de cada nível de PNDR, houve superioridade do período 1 em relação aos demais, para  $T_{20}$ ; menores valores nos períodos 1 e 3 para o  $T_{60}$ , enquanto para o  $T_{40}$  não foram observadas diferenças entre os períodos (Quadro 9). No sistema proposto por Sniffen et al. (1992), o  $CF_d$ , ou  $B_2$ , corresponde à fração potencialmente degradável da fibra do alimento, corrigida para o seu conteúdo de cinza e proteína, que fornece energia mais lentamente no rúmen, podendo afetar a eficiência da síntese microbiana e o desempenho animal. O capim-brizanta, neste estudo, resultou em 56% de seus carboidratos como fração  $B_2$  (Quadros 6 e 9), estando próximo ao valor

relatado por Vieira et al. (2000b), em condições de pastagens naturais, na estação seca; contudo foi inferior ao observado por Malafaia et al. (1998), para essa planta forrageira. Neste sentido, conforme discutido por Vieira et al. (2000a, b), o fornecimento de fontes protéicas de lenta degradação ruminal promoverá maior aporte de aminoácidos ao intestino delgado e favorecerá a maior conservação do nitrogênio consumido, em relação a outras fontes mais rapidamente degradáveis no rúmen; fato endossado pela principal contribuição energética das forrageiras ser oriunda da fração B<sub>2</sub> dos carboidratos. Tal condição proporcionará a sincronização entre o nitrogênio e a energia necessária à síntese de proteína microbiana, sob situação semelhante à do presente estudo.

O S<sub>gr</sub> não sofreu influência dos tratamentos, apresentando valores médios de 0,0509, 0,0356 e 0,0335 h<sup>-1</sup>, nos períodos 1, 2 e 3, respectivamente. Contudo, foram detectadas diferenças entre os períodos dentro de cada tratamento, sendo os menores valores observados nos períodos 3 (T<sub>20</sub>) e 2 (T<sub>60</sub>) e o maior valor, no período 1 (T<sub>40</sub>) (Quadro 9). Pode-se observar que o S<sub>gr</sub> apresentou associação com a degradação ruminal efetiva da fração B<sub>2</sub>. Malafaia et al. (1999) encontraram duas taxas de crescimento específico dos microrganismos ruminais sobre a fração potencialmente degradável da fibra, permitindo ilustrar a natureza heterogênea deste nutriente (Schofield et al., 1994). Entretanto, para o sistema CNCPS é pressuposto que a fração B<sub>2</sub> seja homogênea e apresente taxa única de crescimento específico. Trabalhando em pastagens naturais, Vieira et al. (2000b) encontraram valor médio de 0,0357 h<sup>-1</sup>, similar ao observado neste trabalho.

A DR (CF<sub>d</sub>) apresentou comportamento linear decrescente, no período 1; quadrático, nos períodos 2 e 3, com valores máximos de 306 e 292 g kg<sup>-1</sup>MS, correspondendo aos níveis de PNDR de 38,15 e 45,46%, respectivamente. No caso de períodos dentro de cada tratamento, constatou-se superioridade do período 1, em T<sub>20</sub> e T<sub>40</sub>, e nenhuma diferença entre períodos para o T<sub>60</sub> (Quadro 9). Apesar de o capim-brizanta ter apresentado elevada fração B<sub>2</sub> (56% do CT, Quadros 6 e 9), ele mostrou forte efeito de repleção ruminal (média de 10,94 h). Malafaia et al. (1998), trabalhando com essa forrageira, e Lira (2000), com *Brachiaria decumbens*,

na época seca, encontraram 230 e 199 g DR(B<sub>2</sub>) kg<sup>-1</sup>MS; valores estes inferiores ao valor médio observado no presente trabalho (290 g DR kg<sup>-1</sup>MS). No entanto, em condições de pastagens naturais, na estação seca, Vieira et al. (2000b) verificaram um valor mais alto, 301 g kg<sup>-1</sup>MS.

No presente trabalho os valores mais elevados de CF<sub>d</sub>, S<sub>gr</sub> e DR (B<sub>2</sub>), período 1, podem ser explicados pela maior proporção de folhas, em detrimento de colmos e material senescente, conforme estudos desenvolvidos por Oliveira (2001), na mesma área experimental.

Os dados referentes à cinética de degradação da proteína insolúvel em detergente neutro estão apresentados nos Quadros 7 e 10. Verificou-se efeito de interação entre os níveis de PNDR e o período para as variáveis PIDN<sub>i</sub>, PIDN<sub>d</sub> e DR(PIDN<sub>d</sub>).

O PIDN<sub>i</sub> apresentou comportamento quadrático no período 1, com valor mínimo de 7 g kg<sup>-1</sup>MS, correspondendo ao nível de PNDR de 33,33%; sem efeito de tratamento, no período 2, com valor médio de 10 g kg<sup>-1</sup>MS e quadrático no período 3, com valor máximo de 14 g kg<sup>-1</sup>MS, correspondendo ao nível de PNDR de 37,32%. No caso de períodos dentro de cada nível de PNDR, houve superioridade do período 3 em relação aos demais, no T<sub>40</sub>, não sendo observadas diferenças significativas entre os períodos, para T<sub>20</sub> e T<sub>60</sub> (Quadro 10). No sistema proposto por Sniffen et al. (1992), a PIDN<sub>i</sub>, ou PIDA, corresponde à proteína insolúvel e não-digerível no rúmen e nos intestinos, sendo constituída por proteínas associadas à lignina, por complexos tanino-proteína e por produtos Maillard, os quais são altamente resistentes às enzimas microbianas e do hospedeiro, não sendo degradada no rúmen, como também não libera aminoácidos para serem absorvidos no intestino delgado (Krishnamoorthy et al., 1983).

A ausência de efeito da suplementação protéica é concordante com Judkins et al. (1985), que não observaram diferenças para a fração PIDA, quando foram utilizadas dietas selecionadas com teores protéicos acima de 60 g kg<sup>-1</sup> MS, como observado neste trabalho (Quadro 6). A maior concentração dessa fração no período 3 (T<sub>40</sub>) pode estar associada ao aumento de colmo e material senescente (Judkins et al., 1985; Oliveira, 2001). A proporção da fração C (% PB) variou de 6 a 16% (Quadros 6 e 10). O aumento da indisponibilidade de parte da proteína bruta constitui um dos



Quadro 10 – Valores médios da cinética de degradação da proteína insolúvel em detergente neutro e estimativas pontuais e por intervalo dos parâmetros da regressão, na época 1

Períodos	Tratamentos			Equações	IC( $\beta_i$ ) <sub>0,95</sub> <sup>1/</sup>		
	T <sub>20</sub>	T <sub>40</sub>	T <sub>60</sub>		b <sub>0</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>
				PIDN <sub>i</sub>			
P <sub>1</sub>	8 a	7 b <sup>2/</sup>	13 a	$\hat{Y} = 17 - 0,58X + 8,7 \times 10^{-3} X^2$	(7; 27)	(-1,2; -9,4x10 <sup>-3</sup> )	(1,6x10 <sup>-3</sup> ; 1,6x10 <sup>-2</sup> )
P <sub>2</sub>	10 a	9 b	12 a	$\hat{Y} = 10$	(9; 12)	-	-
P <sub>3</sub>	12 a	14 a	10 a	$\hat{Y} = 4 + 0,53X - 7,1 \times 10^{-3} X^2$	(-6; 14)	(-0,04; 1,10)	(-1,4x10 <sup>-2</sup> ; -2,1x10 <sup>-5</sup> )
				PIDN <sub>d</sub>			
P <sub>1</sub>	26 a	17 b	15 b	$\hat{Y} = 42 - 0,99X + 8,8 \times 10^{-3} X^2$	(32; 52)	(-1,56; -0,41)	(1,7x10 <sup>-3</sup> ; 1,6x10 <sup>-2</sup> )
P <sub>2</sub>	22 ab	26 a	19 ab	$\hat{Y} = 6 + 1,12X - 1,5 \times 10^{-2} X^2$	(-4; 16)	(0,54; 1,69)	(-2,2x10 <sup>-2</sup> ; -8,0x10 <sup>-3</sup> )
P <sub>3</sub>	18 b	25 a	21 a	$\hat{Y} = 0,04 + 1,16X - 1,4 \times 10^{-2} X^2$	(-10,05; 10,13)	(0,59; 1,74)	(-2,1x10 <sup>-1</sup> ; -6,6x10 <sup>-3</sup> )
				DR(PIDN <sub>d</sub> )			
P <sub>1</sub>	19 a	12 b	9 b	$\hat{Y} = 23 - 0,25X$	(19; 26)	(-0,33; -0,173)	-
P <sub>2</sub>	15 b	19 a	14 a	$\hat{Y} = 0,9 + 0,96X - 1,2 \times 10^{-2} X^2$	(-9; 11)	(0,39; 1,52)	(-1,9x10 <sup>-2</sup> ; -5,4x10 <sup>-3</sup> )
P <sub>3</sub>	12 c	18 a	15 a	$\hat{Y} = -0,3 + 0,82X - 9,4 \times 10^{-3} X^2$	(-10; 10)	(0,26; 1,39)	(-1,6x10 <sup>-2</sup> ; -2,4x10 <sup>-3</sup> )

<sup>1/</sup> IC( $\beta_i$ )<sub>0,95</sub> corresponde ao intervalo de confiança para  $\beta_i$ , com nível de confiança de 0,95; e <sup>2/</sup> médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem pelo teste de Tukey (P < 0,05).

efeitos mais negativos do avanço do estágio de desenvolvimento da forrageira, sob o ponto de vista nutricional. Porém, de acordo com Van Soest (1994), de 5 a 15% do nitrogênio total das forrageiras encontra-se ligado à lignina, totalmente indisponível, estando os valores encontrados no presente trabalho incluídos nesta faixa. Vieira et al. (2000a), trabalhando com pastagens naturais, na estação seca, e Malafaia et al. (1997), com capim-brizanta, verificaram valores superiores aos do presente estudo, ou seja, de 17 e 21 g kg<sup>-1</sup>MS, respectivamente, enquanto Lira (2000) relatou o valor de 9 g kg<sup>-1</sup>MS para *Brachiaria decumbens*, na mesma época.

O PIDN<sub>d</sub> apresentou comportamento quadrático nos três períodos, com valor mínimo de 14 g kg<sup>-1</sup>MS, no período 1; e valores máximos de 27 e 24 g kg<sup>-1</sup>MS, nos períodos 2 e 3, correspondendo aos níveis de PNDR de 56,25, 37,33 e 41,43%, respectivamente. Houve diferença significativa entre os períodos para todos os tratamentos (Quadros 7 e 10). No sistema proposto por Sniffen et al. (1992), a PIDN<sub>d</sub>, ou B<sub>3</sub>, corresponde à proteína insolúvel com taxa de degradação lenta no rúmen, sendo potencial fonte de aminoácidos no intestino delgado. O capim-brizanta apresentou proporção significativa de seu nitrogênio na forma de proteína de lenta degradação (média de 21%) (Quadros 6 e 10), que tende a escapar do rúmen e fornecer aminoácidos no intestino delgado. O teor médio da fração B<sub>3</sub> dessa forrageira assemelha-se àquele encontrado por Malafaia et al. (1997), 26 g kg<sup>-1</sup>MS; no entanto é superior ao relatado por Vieira et al. (2000a) e Lira (2000), na estação seca, em condições de pastagens naturais e com *Brachiaria decumbens*, ou seja, de 11 e 2 g kg<sup>-1</sup>MS, respectivamente. (Quadros 6 e 10). Vale ressaltar que o resíduo indigerido da fração PIDN<sub>i</sub> e PIDN<sub>d</sub> representa a maior parte das proteínas ingeridas a serem excretadas nas fezes.

A DR (PIDN<sub>d</sub>) apresentou comportamento linear decrescente no período 1 e quadrático nos períodos 2 e 3, com valores máximos de 20 e 18 g kg<sup>-1</sup>MS, correspondendo aos níveis de PNDR de 40,00 e 43,62%, respectivamente. Houve diferença significativa entre os períodos para todos os tratamentos (Quadros 7 e 10). Para essa variável, Vieira et al. (2000a), trabalhando em pastagens naturais, encontraram um valor de 6 g kg<sup>-1</sup>MS, inferior ao observado no presente trabalho.

## Experimento 2: Época 2

Houve considerável variação nas frações de carboidratos (Quadro 11). A mudança do período 1 para os períodos 2 e 3 resultou em uma redução do conteúdo protéico e de carboidratos não-fibrosos e em aumento nos teores de fibra em detergente neutro, carboidratos totais e carboidratos fibrosos, em virtude do crescimento das estruturas na parede celular vegetal. Esta situação pode ser explicada pela maior participação de folha verificada no período 1, resultando assim na melhoria do valor nutritivo da forragem (Van Soest, 1994; Euclides et al., 1998; Oliveira, 2001; Paciullo et al., 2001).

Conduzindo estudos com forrageiras tropicais, Malafaia et al. (1997) relataram para o capim-brizanta valores de PB, EE, MM de 75, 7, 64 g kg<sup>-1</sup> MS, respectivamente, menores que os registrados neste trabalho, na época 2. Contudo, valores maiores de PIDN, FDN, CT e CF foram encontrados pelos autores, ou seja, de 46, 805, 854 e 735 g kg<sup>-1</sup>MS. Esta discrepância de valores pode ser justificada pelo método de amostragem do material; neste trabalho utilizou-se extrusa, enquanto Malafaia et al. (1997) trabalharam com amostras da forrageira colhidas manual e integralmente, ou seja, incluindo folhas e caules. Os valores de CF (% CT) encontrados neste trabalho, 81 a 90% (Quadro 11), estão acima da faixa descrita na literatura para forrageiras, as quais, normalmente, apresentam de 60 a 80% de seus carboidratos como sendo componentes de parede celular vegetal (Van Soest, 1994).

Os dados referentes à cinética de degradação da fibra em detergente neutro estão apresentados nos Quadros 12 e 13. Verificou-se efeito de interação entre os níveis de PNDR e o período para as variáveis fibra em detergente neutro indigestível, FDN<sub>i</sub>, repleção ruminal total, RR; e repleção ruminal da fração potencialmente degradável, RR(U).

A FDN<sub>i</sub> apresentou comportamento linear crescente no período 2 e quadrático no período 3, com estimativa de valor máximo de 257 g kg<sup>-1</sup> MS, correspondendo ao nível de PNDR de 25,92% e sem efeito de tratamento no período 1, com valor médio de 120 g kg<sup>-1</sup>MS. A RR seguiu um comportamento linear crescente no período 1 e quadrático no período 2, com valor mínimo de 24 horas, equivalente a 27% de PNDR e sem influência dos tratamentos

Quadro 11 – Valores médios de proteína bruta (PB), proteína insolúvel em detergente neutro (PIDN), proteína indigerível insolúvel em detergente neutro (PIDN<sub>i</sub>) e digerível (PIDN<sub>d</sub>), extrato etéreo (EE), matéria mineral (MM), fibra em detergente neutro (FDN), FDN indigerível (FDN<sub>i</sub>), carboidratos totais (CT), carboidratos fibrosos (CF), CF indigeríveis (CF<sub>i</sub>) e digeríveis (CF<sub>d</sub>) e carboidratos não-fibrosos (CNF) nas amostras de extrusa, na época 2

Nutrientes <sup>1/</sup>	Tratamentos	Períodos		
		1	2	3
PB	T <sub>0</sub>	162	95	79
	T <sub>40</sub>	132	97	75
	T <sub>60</sub>	146	90	73
PIDN <sup>2/</sup>	T <sub>0</sub>	71 (44)	28 (29)	27 (34)
	T <sub>40</sub>	45 (34)	31 (32)	26 (35)
	T <sub>60</sub>	61 (42)	26 (29)	25 (34)
PIDN <sub>i</sub> <sup>2/</sup>	T <sub>0</sub>	9 (6)	8 (8)	10 (13)
	T <sub>40</sub>	4 (3)	8 (8)	10 (13)
	T <sub>60</sub>	9 (6)	9 (10)	9 (12)
PIDN <sub>d</sub> <sup>2/</sup>	T <sub>0</sub>	62 (38)	20 (21)	17 (22)
	T <sub>40</sub>	41 (31)	23 (24)	16 (21)
	T <sub>60</sub>	52 (36)	17 (19)	16 (22)
EE	T <sub>0</sub>	19	16	16
	T <sub>40</sub>	18	15	12
	T <sub>60</sub>	20	17	12
MM	T <sub>0</sub>	102	112	107
	T <sub>40</sub>	127	144	182
	T <sub>60</sub>	105	141	104
FDN	T <sub>0</sub>	697	687	736
	T <sub>40</sub>	654	680	703
	T <sub>60</sub>	673	671	735
FDN <sub>i</sub> <sup>3/</sup>	T <sub>0</sub>	109 (16)	192 (28)	231 (31)
	T <sub>40</sub>	118 (18)	195 (29)	248 (35)
	T <sub>60</sub>	133 (20)	223 (33)	212 (29)
CT	T <sub>0</sub>	717	777	798
	T <sub>40</sub>	723	743	730
	T <sub>60</sub>	729	752	812
CF <sup>4/</sup>	T <sub>0</sub>	613 (85)	642 (83)	689 (86)
	T <sub>40</sub>	587 (81)	610 (82)	656 (90)
	T <sub>60</sub>	599 (82)	633 (84)	691 (85)
CF <sub>i</sub> <sup>4/</sup>	T <sub>0</sub>	106 (15)	159 (20)	212 (27)
	T <sub>40</sub>	89 (12)	143 (19)	182 (25)
	T <sub>60</sub>	114 (16)	190 (25)	190 (23)
CF <sub>d</sub> <sup>4/</sup>	T <sub>0</sub>	507 (71)	483 (62)	477 (60)
	T <sub>40</sub>	498 (69)	467 (63)	474 (65)
	T <sub>60</sub>	485 (67)	443 (59)	501 (62)
CNF	T <sub>0</sub>	104	135	109
	T <sub>40</sub>	136	133	74
	T <sub>60</sub>	130	119	120

<sup>1/</sup> g kg<sup>-1</sup> MS; <sup>2/</sup> valores entre parênteses referem-se à porcentagem da PB (média de três repetições); <sup>3/</sup> valores entre parênteses referem-se à porcentagem da FDN (média de três repetições); e <sup>4/</sup> valores entre parênteses referem-se à porcentagem dos CT (média de três repetições).

Quadro 12 – Níveis descritivos dos testes (valores P) realizados para verificação dos efeitos de tratamentos (t), períodos (p), interação (tp), tratamento dentro de período (t/p) e período dentro de tratamento (p/t) da cinética de degradação, na época 2

Variável	T	QMR(a)	CV <sub>1</sub> <sup>1/</sup>	p	tp	QMR(b)	CV <sub>2</sub> <sup>2/</sup>	t/p <sub>1</sub>		t/p <sub>2</sub>		t/p <sub>3</sub>		p/t <sub>1</sub>	p/t <sub>2</sub>	p/t <sub>3</sub>
								$\hat{b}_1$	$\hat{b}_2$	$\hat{b}_1$	$\hat{b}_2$	$\hat{b}_1$	$\hat{b}_2$			
Fibra em Detergente Neutro																
FDN <sub>i</sub>	3,6x10 <sup>-1</sup>	301,3491	9,41	9,3x10 <sup>-10</sup>	6,6x10 <sup>-3</sup>	160,5427	6,87	6,4x10 <sup>-2</sup>	n.s. <sup>3/</sup>	3,2x10 <sup>-2</sup>	1,1x10 <sup>-1</sup>	2,9x10 <sup>-1</sup>	8,8x10 <sup>-3</sup>	2,0x10 <sup>-7</sup>	1,1x10 <sup>-7</sup>	2,7x10 <sup>-6</sup>
RR	3,2x10 <sup>-1</sup>	14,34686	13,64	4,2x10 <sup>-6</sup>	7,1x10 <sup>-3</sup>	5,453266	8,41	4,9x10 <sup>-2</sup>	n.s.	n.s.	1,3x10 <sup>-3</sup>	n.s.	n.s.	3,6x10 <sup>-5</sup>	2,5x10 <sup>-3</sup>	4,2x10 <sup>-4</sup>
RR(U)	n.s.	6,443789	21,23	1,3x10 <sup>-2</sup>	3,3x10 <sup>-5</sup>	0,324412	4,76	7,7x10 <sup>-2</sup>	2,6x10 <sup>-2</sup>	n.s.	2,2x10 <sup>-1</sup>	n.s.	n.s.	2,0x10 <sup>-4</sup>	3,9x10 <sup>-5</sup>	n.s.
RR(I)	3,6x10 <sup>-1</sup>	17,22055	26,24	4,8x10 <sup>-6</sup>	6,6x10 <sup>-2</sup>	5,51305	14,85	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Carboidratos Fibrosos																
CF <sub>i</sub>	1,8x10 <sup>-2</sup>	209,9782	9,41	2,5x10 <sup>-9</sup>	1,8x10 <sup>-2</sup>	125,287	7,27	n.s.	2,4x10 <sup>-2</sup>	2,8x10 <sup>-2</sup>	6,7x10 <sup>-4</sup>	2,3x10 <sup>-2</sup>	1,0x10 <sup>-1</sup>	3,1x10 <sup>-7</sup>	1,2x10 <sup>-6</sup>	2,1x10 <sup>-6</sup>
CF <sub>d</sub>	2,4x10 <sup>-1</sup>	209,9782	3,01	2,0x10 <sup>-4</sup>	2,8x10 <sup>-3</sup>	125,287	2,32	5,7x10 <sup>-2</sup>	n.s.	1,2x10 <sup>-3</sup>	2,5x10 <sup>-1</sup>	5,9x10 <sup>-2</sup>	4,3x10 <sup>-2</sup>	1,7x10 <sup>-2</sup>	1,4x10 <sup>-2</sup>	1,0x10 <sup>-4</sup>
S <sub>gr</sub>	n.s.	0,000326	43,85	1,7x10 <sup>-1</sup>	2,0x10 <sup>-1</sup>	9,05x10 <sup>-5</sup>	23,09	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DR(CF <sub>d</sub> )	n.s.	1874,494	12,44	1,7x10 <sup>-1</sup>	2,7x10 <sup>-1</sup>	786,1741	8,06	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Proteína Insolúvel em Detergente Neutro																
3	1,5x10 <sup>-1</sup>	2,898185	19,96	3,4x10 <sup>-2</sup>	4,3x10 <sup>-2</sup>	2,086487	16,93	n.s.	5,4x10 <sup>-4</sup>	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	2,2x10 <sup>-3</sup>	n.s.
PIDN <sub>d</sub>	5,6x10 <sup>-4</sup>	2,898185	5,85	2,4x10 <sup>-15</sup>	7,5x10 <sup>-8</sup>	2,086487	4,96	6,0x10 <sup>-9</sup>	1,6x10 <sup>-10</sup>	1,2x10 <sup>-1</sup>	2,6x10 <sup>-4</sup>	2,9x10 <sup>-1</sup>	n.s.	8,7x10 <sup>-14</sup>	1,9x10 <sup>-10</sup>	8,3x10 <sup>-13</sup>
DR(P <sub>d</sub> ) <sup>4/</sup>	7,0x10 <sup>-3</sup>	6,80198	13,49	1,5x10 <sup>-12</sup>	2,1x10 <sup>-6</sup>	2,965501	8,91	4,4x10 <sup>-3</sup>	2,3x10 <sup>-9</sup>	n.s.	1,8x10 <sup>-1</sup>	n.s.	n.s.	5,7x10 <sup>-11</sup>	8,6x10 <sup>-7</sup>	1,1x10 <sup>-10</sup>

<sup>1/</sup> CV<sub>1</sub> = 100x√QMR(a) /  $\hat{\mu}$ ; e <sup>2/</sup> CV<sub>2</sub> = 100x√QMR(b) /  $\hat{\mu}$ ; <sup>3/</sup> n.s. = não-significativo, usado quando F < 1; <sup>4/</sup> DR(P<sub>d</sub>) corresponde à degradação ruminal da proteína digestível insolúvel em detergente neutro.

Quadro 13 – Valores médios da cinética de degradação da fibra em detergente neutro e estimativas pontuais e por intervalo dos parâmetros da regressão, na época 2

Períodos	Tratamentos			Equações	IC( $\beta_i$ ) <sub>0,95</sub> <sup>1/</sup>		
	T <sub>0</sub>	T <sub>40</sub>	T <sub>60</sub>		b <sub>0</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>
FDN <sub>i</sub>							
P <sub>1</sub>	109 c <sup>2/</sup>	118 c	133 b	$\hat{Y} = 120$	(110; 130)	-	-
P <sub>2</sub>	192 b	195 b	223 a	$\hat{Y} = 189 + 0,45X$	(172; 205)	(0,04; 0,85)	-
P <sub>3</sub>	231 a	248 a	212 a	$\hat{Y} = 231 + 1,97X - 3,8 \times 10^{-2} X^2$	(213; 248)	(0,36; 3,58)	$(-6,5 \times 10^{-2}; -1,1 \times 10^{-2})$
RR							
P <sub>1</sub>	19,04 b	23,33 b	23,69 b	$\hat{Y} = 19,30 + 0,08X$	(15,91; 22,69)	$(2,7 \times 10^{-4}; 1,6 \times 10^{-1})$	-
P <sub>2</sub>	31,07 a	25,27 b	34,33 a	$\hat{Y} = 31,07 - 0,54X + 1,0 \times 10^{-2} X^2$	(27,55; 34,59)	(-0,87; -0,22)	$(4,5 \times 10^{-3}; 1,5 \times 10^{-2})$
P <sub>3</sub>	31,28 a	31,58 a	30,36 a	$\hat{Y} = 31,07$	(29,04; 33,11)	-	-
RR(U)							
P <sub>1</sub>	10,08 b	13,93 a	11,82 a	$\hat{Y} = 10,08 + 0,23X - 3,4 \times 10^{-3} X^2$	(8,22; 11,95)	(0,06; 0,40)	$(-6,3 \times 10^{-3}; -4,5 \times 10^{-4})$
P <sub>2</sub>	12,05 a	10,53 c	11,87 a	$\hat{Y} = 11,48$	(10,41; 12,56)	-	-
P <sub>3</sub>	12,85 a	12,26 b	12,23 a	$\hat{Y} = 12,45$	(11,37; 13,52)	-	-
Médias Gerais para Períodos				RR(l) Regressão ajustada para tratamentos			
P <sub>1</sub>	10,08 b			$\hat{Y} = 15,82$	(13,86; 17,77)	-	-
P <sub>2</sub>	18,74 a						
P <sub>3</sub>	18,63 a						

<sup>1/</sup> IC( $\beta_i$ )<sub>0,95</sub> corresponde ao intervalo de confiança para  $\beta_i$ , com nível de confiança de 0,95; e <sup>2/</sup> médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem pelo teste de Tukey (P < 0,05).

no período 3, cujo valor médio foi de 31,07 horas. Foi observado um comportamento quadrático para a variável RR (U), no período 1, com valor máximo de 14 horas, correspondendo ao nível de 33,82% de PNDR. No caso da repleção ruminal da fração indegradável, RR(I), a interação não foi significativa, apresentando menor efeito no período 1 e nenhuma influência dos níveis de PNDR sobre esta variável, com valor médio de 15,82 horas. Houve diferença entre os períodos dentro de cada nível de PNDR para as variáveis FDN<sub>i</sub> e RR e RR(U), verificando-se menores valores no período 1, com exceção do T<sub>40</sub>, em que ocorreu o inverso para RR(U) (Quadro 13). Essa ausência de efeito constatada é concordante com McCollum & Galyean (1985) e Judkins et al. (1987), que concluíram que em novilhos mantidos em pastagens com teores protéicos superiores a 60 g kg<sup>-1</sup>MS, como observado neste trabalho (Quadro 11), a suplementação protéica não afetou a repleção ruminal. No presente estudo o valor médio de RR (I) foi, aproximadamente, 32% maior que RR (U), durante a época 2 (Quadro 13); esta situação também pode ser observada nos resultados apresentados por Vieira et al. (2000b), em área de pastagens naturais da Zona da Mata de Minas Gerais, ou seja, 55%. Avaliando o efeito da repleção ruminal em capim-elefante, em diferentes estádios de crescimento, Vieira et al. (1997) constataram que a fração indegradável da fibra respondeu por 63% da repleção total, aos 82 dias de idade da forrageira, valor este próximo ao encontrado neste trabalho, 57%.

A proporção de FDN<sub>i</sub>, em relação à fibra total, variou de 16 a 35% (Quadros 11 e 13), incluindo o valor relatado por Allen & Mertens (1988), de 33%. Dessa forma, a maior concentração de FDN<sub>i</sub> observada no período 3, no mês de maio, pode estar associada ao aumento da fração colmo (Judkins et al., 1985; Oliveira, 2001).

Esses resultados vêm corroborar a seletividade exercida pelos animais sob pastejo, que preferem folhas verdes e rejeitam caule e material morto (Ellis, 1978; Minson, 1990). Além disto, o maior consumo de folhas em relação aos colmos é atribuído à mais rápida digestão e ao menor tempo de retenção no rúmen (Blaser & Novaes, 1990, citados por Pereira et al., 2002). Esta situação também ocorreu na época 1 do presente estudo.

Os dados referentes à cinética de degradação dos carboidratos fibrosos estão apresentados nos Quadros 12 e 14. Verificou-se efeito de interação entre os níveis de PNDR e os períodos para as variáveis carboidratos fibrosos indigeríveis,  $CF_i$ , carboidratos fibrosos digeríveis,  $CF_d$ .

O  $CF_i$ , ou fração C de carboidratos, apresentou comportamento quadrático nos períodos 1 e 2, com valores mínimos de 85 e 132 g  $kg^{-1}MS$ , correspondendo aos níveis de PNDR de 27,14 e 24,13%, respectivamente, e linear decrescente no período 3. No caso de períodos dentro de cada nível de PNDR, houve superioridade do período 3 em relação aos demais (Quadro 14). A maior concentração dessa fração no período 3, verificada na época 2, pode estar associada ao aumento de colmo e material senescente (Judkins et al., 1985; Oliveira, 2001). Tal fato é esperado, uma vez que com o avanço do estágio de maturidade das gramíneas tropicais, observado neste trabalho, há maior espessamento da parede celular, tendendo a aumentar a fração indigestível, reduzindo, desta forma, a fração potencialmente digerível (Wilson, 1994; Wilson & Mertens, 1995). Malafaia et al. (1998) verificaram para o capim-brizanta, cortado aos 60 dias de rebrota, valor da fração C de 161 g  $kg^{-1}MS$ , similar à média obtida neste estudo, 154 g  $kg^{-1}MS$ , enquanto Vieira et al. (2000b), em pastagens naturais, na estação chuvosa, relataram valor de 194 g  $kg^{-1}MS$ . O incremento da fração C (Quadro 14) e a redução dos CNF (Quadro 11) podem implicar diminuição da disponibilidade energética para os microrganismos que fermentam carboidratos fibrosos e não-fibrosos, afetando a eficiência de síntese microbiana, e, ainda, levar a perdas de nitrogênio no rúmen, se forem utilizadas fontes protéicas de rápida degradação ruminal. Além disto, esta fração exerce efeito na repleção ruminal (Quadro 13), devido ao elevado tempo de retenção ruminal, 59,2 horas (artigo 2), podendo limitar a ingestão de matéria seca em animais de elevada demanda nutricional (Van Soest, 1994).

O  $CF_d$ , ou fração  $B_2$  de carboidratos, apresentou comportamento linear decrescente no período 2 e quadrático no período 3, com valor mínimo de 466 g  $kg^{-1}MS$ , correspondendo ao nível de 21,87% de PNDR; e não sofreu influência dos tratamentos no período 1, cujo valor médio foi de 496 g  $kg^{-1}MS$ . No caso de períodos dentro de cada nível de PNDR, não houve diferença significativa entre os períodos 1 e 2 ( $T_0$ ) e superioridade do



Quadro 14 – Valores médios da cinética de degradação dos carboidratos fibrosos e estimativas pontuais e por intervalo dos parâmetros da regressão, na época 2

Períodos	Tratamentos			Equações	IC( $\beta_i$ ) <sub>0,95</sub> <sup>1/</sup>		
	T <sub>0</sub>	T <sub>40</sub>	T <sub>60</sub>		b <sub>0</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>
				CF <sub>i</sub>			
P <sub>1</sub>	106 c <sup>2/</sup>	89 c	114 b	$\hat{Y} = 106 - 1,52X + 2,8 \times 10^{-2} X^2$	(91; 121)	(-2,91; -0,14)	(4,1x10 <sup>-3</sup> ; 5,1x10 <sup>-2</sup> )
P <sub>2</sub>	159 b	143 b	190 a	$\hat{Y} = 159 - 2,22X + 4,6 \times 10^{-2} X^2$	(144; 174)	(-3,60; -0,83)	(2,2x10 <sup>-2</sup> ; 6,9x10 <sup>-2</sup> )
P <sub>3</sub>	212 a	182 a	190 a	$\hat{Y} = 208 - 0,41X$	(194; 223)	(-0,76; -0,06)	-
				CF <sub>d</sub>			
P <sub>1</sub>	507 a	498 a	485 a	$\hat{Y} = 496$	(488; 505)	-	-
P <sub>2</sub>	483 ab	467 b	443 b	$\hat{Y} = 486 - 0,64X$	(471; 500)	(-0,99; -0,29)	-
P <sub>3</sub>	477 b	474 ab	501 a	$\hat{Y} = 477 - 1,05X + 2,4 \times 10^{-2} X^2$	(462; 492)	(-2,43; 0,33)	(8,0x10 <sup>-4</sup> ; 4,8x10 <sup>-2</sup> )
				S <sub>gr</sub>			
	Regressão ajustada para tratamentos			$\hat{Y} = 0,0412$	(0,0327; 0,0497)	-	-
				DR(CF <sub>d</sub> )			
	Regressão ajustada para tratamentos			$\hat{Y} = 348$	(328; 368)	-	-

<sup>1/</sup> IC( $\beta_i$ )<sub>0,95</sub> corresponde ao intervalo de confiança para  $\beta_i$ , com nível de confiança de 0,95; e <sup>2/</sup> médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem pelo teste de Tukey (P < 0,05).

período 1 em relação ao período 2, para  $T_{40}$  e  $T_{60}$  (Quadro 14). O capim-brizanta, neste estudo, resultou em 64% de seus carboidratos como fração  $B_2$  (Quadros 11 e 14), estando próximo aos valores relatados por Malafaia et al. (1998), em estudos com essa forrageira, e por Vieira et al. (2000b), em condições de pastagens naturais, na estação chuvosa. Neste sentido, o fornecimento de fontes protéicas de lenta degradação ruminal, na época 2, promoverá maior aporte de aminoácidos ao intestino delgado, fato este confirmado pela principal contribuição energética das forrageiras ser oriunda da fração  $B_2$  dos carboidratos. Tal condição proporcionará a sincronização entre nitrogênio e energia necessárias à síntese de proteína microbiana, sob situação semelhante à do presente estudo.

O  $S_{gr}$  não sofreu influência dos tratamentos, apresentando valor médio de  $0,0412 \text{ h}^{-1}$  (Quadro 14), semelhante ao observado na época 1,  $0,0400 \text{ h}^{-1}$ . Trabalhando sob condições de pastagens naturais, Vieira et al. (2000b) encontraram valor médio de  $0,0456 \text{ h}^{-1}$ , similar ao observado neste trabalho.

A DR ( $CF_d$ ) não foi afetada pelos níveis de PNDR, apresentando valor médio de  $348 \text{ g kg}^{-1}\text{MS}$  (Quadro 14). Apesar de o capim-brizanta ter apresentado elevada fração  $B_2$  (64% do CT, Quadros 11 e 14), ele mostrou forte efeito de repleção ruminal (média de  $11,96 \text{ h}$ , Quadro 13). Malafaia et al. (1998), trabalhando com essa forrageira, e Lira (2000), com *Brachiaria decumbens*, na estação chuvosa, encontraram  $230$  e  $232 \text{ g DR}(B_2) \text{ kg}^{-1} \text{MS}$ , valores inferiores ao valor médio observado no presente trabalho ( $348 \text{ g kg}^{-1} \text{MS}$ ). No entanto, em condições de pastagens naturais, na estação chuvosa, Vieira et al. (2000b) verificaram um valor mais alto ( $353 \text{ g kg}^{-1} \text{MS}$ ).

Os dados referentes à cinética de degradação da proteína insolúvel em detergente neutro estão apresentados nos Quadros 12 e 15. Verificou-se efeito de interação entre os níveis de PNDR e o período para as variáveis  $PIDN_i$ ,  $PIDN_d$  e  $DR(PIDN_d)$ .

O  $PIDN_i$ , ou fração PIDA, apresentou comportamento quadrático no período 1, com valor mínimo de  $4 \text{ g kg}^{-1}\text{MS}$ , correspondendo ao nível de PNDR de 30,17%, sem efeito de tratamento, nos períodos 2 e 3, com valores médios de  $8$  e  $10 \text{ g kg}^{-1}\text{MS}$ , respectivamente. No caso de períodos dentro de cada nível de PNDR, o período 1 foi inferior em relação aos

Quadro 15 – Valores médios da cinética de degradação da proteína insolúvel em detergente neutro e estimativas pontuais e por intervalo dos parâmetros da regressão, na época 2

Períodos	Tratamentos			Equações	IC( $\beta_i$ ) <sub>0,95</sub> <sup>1/</sup>		
	T <sub>0</sub>	T <sub>40</sub>	T <sub>60</sub>		b <sub>0</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>
PIDN <sub>i</sub>							
P <sub>1</sub>	9 a	4 b <sup>2/</sup>	9 a	$\hat{Y} = 9 - 0,35X + 5,8 \times 10^{-3} X^2$	(7; 11)	(-0,52; -0,18)	( $2,9 \times 10^{-3}$ ; $8,7 \times 10^{-3}$ )
P <sub>2</sub>	8 a	8 a	9 a	$\hat{Y} = 8$	(7; 10)	-	-
P <sub>3</sub>	10 a	10 a	9 a	$\hat{Y} = 10$	(8; 11)	-	-
PIDN <sub>d</sub>							
P <sub>1</sub>	62 a	41 a	52 a	$\hat{Y} = 62 - 1,23X + 1,8 \times 10^{-2} X^2$	(60; 63)	(-1,40; -1,06)	( $1,5 \times 10^{-2}$ ; $2,1 \times 10^{-2}$ )
P <sub>2</sub>	20 b	23 b	17 b	$\hat{Y} = 20 + 0,32X - 6,3 \times 10^{-3} X^2$	(18; 22)	(0,15; 0,50)	( $-9,2 \times 10^{-3}$ ; $-3,4 \times 10^{-3}$ )
P <sub>3</sub>	17 b	16 c	16 b	$\hat{Y} = 16$	(15; 17)	-	-
DR(PIDN <sub>d</sub> )							
P <sub>1</sub>	41 a	24 a	39 a	$\hat{Y} = 41 - 1,25X + 2,0 \times 10^{-2} X^2$	(39; 44)	(-1,48; -1,02)	( $1,6 \times 10^{-2}$ ; $2,4 \times 10^{-2}$ )
P <sub>2</sub>	13 b	14 b	12 b	$\hat{Y} = 13$	(12; 14)	-	-
P <sub>3</sub>	10 b	9 c	11 b	$\hat{Y} = 10$	(9; 12)	-	-

<sup>1/</sup> IC( $\beta_i$ )<sub>0,95</sub> corresponde ao intervalo de confiança para  $\beta_i$ , com nível de confiança de 0,95; e <sup>2/</sup> médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem pelo teste de Tukey (P < 0,05).

demais, para  $T_{40}$ , não tendo sido observadas diferenças significativas entre os períodos, para  $T_0$  e  $T_{60}$  (Quadro 15). A ausência de efeito da suplementação protéica é concordante com Judkins et al. (1985), que não constatarem diferenças para a fração PIDA, quando foram utilizadas dietas selecionadas com teores protéicos acima de  $60 \text{ g kg}^{-1}\text{MS}$ , como observado neste trabalho (Quadro 11). A proporção da fração C (% PB) variou de 3 a 13% (Quadros 11 e 15). Esta fração representa a maior parte das proteínas ingeridas a serem excretadas nas fezes e, de acordo com Van Soest (1994), de 5 a 15% do nitrogênio total das forrageiras está ligado à lignina, estando os valores encontrados no presente trabalho incluídos nesta faixa. Vieira et al. (2000a), trabalhando em condições de pastagens naturais, Lira (2000), com *Brachiaria decumbens* e Malafaia et al. (1997), com capim-brizanta, na estação chuvosa, verificaram valores superiores aos relatados neste estudo (Quadros 11 e 15), ou seja, de 20, 13 e  $21 \text{ g kg}^{-1} \text{MS}$ , respectivamente.

O  $\text{PIDN}_d$ , ou fração  $B_3$  da proteína, apresentou comportamento quadrático nos períodos 1 e 2, com valor mínimo de  $41 \text{ g kg}^{-1} \text{MS}$  no período 1 e valor máximo de  $24 \text{ g kg}^{-1}\text{MS}$  no período 2, correspondendo aos níveis de PNDR de 34,17 e 25,40%, respectivamente, e sem efeito de tratamento no período 3, com valor médio de  $16 \text{ g kg}^{-1} \text{MS}$ . Houve diferença significativa entre os períodos para todos os tratamentos (Quadro 15). O capim-brizanta apresentou proporção significativa de seu nitrogênio na forma de proteína de lenta degradação (média de 26% da PB, Quadros 11 e 15), que tende a escapar do rúmen e fornecer aminoácidos no intestino delgado. O teor médio da fração  $B_3$  dessa forrageira assemelha-se àquele encontrado por Malafaia et al. (1997),  $26 \text{ g kg}^{-1}\text{MS}$ , no entanto é inferior ao relatado por Vieira et al. (2000a), em condições de pastagens naturais,  $40 \text{ g kg}^{-1}\text{MS}$ , e superior ao observado por Lira (2000), em *Brachiaria decumbens*, ou seja, de  $3 \text{ g kg}^{-1}\text{MS}$ , na estação chuvosa.

A DR ( $\text{PIDN}_d$ ) apresentou comportamento quadrático no período 1, com valor mínimo de  $21 \text{ g kg}^{-1}\text{MS}$ , correspondendo ao nível de PNDR de 31,25%, e sem influência dos tratamentos, nos períodos 2 e 3, cujos valores médios foram de 13 e  $10 \text{ g kg}^{-1} \text{MS}$ , respectivamente. Houve diferença significativa entre os períodos para todos os tratamentos (Quadro 15). Para essa variável Vieira et al. (2000a), trabalhando em pastagens naturais,

encontraram um valor de 28 g kg<sup>-1</sup>MS, superior ao observado no presente trabalho (Quadro 15).

As condições predominantes no presente estudo tiveram as seguintes características: em ambas as épocas do ano os valores médios das variáveis analisadas ficaram próximos, com exceção da RR (I), que foi aproximadamente 47 e 32% maior que RR(U), nas épocas 1 e 2, respectivamente, sem contudo afetar a relação RR(I)/RR, que foi de 59 e 57%. Uma explicação para a semelhança dos dados pode ser devido ao fato de que nos dois últimos meses da época 2 (abril e maio) houve queda acentuada nos valores de proteína bruta, proteína digestível insolúvel em detergente neutro e degradação ruminal efetiva da PIDN<sub>d</sub> e aumentos de fibra em detergente neutro indigerível, repleção ruminal e carboidratos fibrosos indigeríveis. Os valores médios de RR(I) foram elevados, o que resultou em DR(CF<sub>d</sub>) e DR(PIDN<sub>d</sub>) baixas.

As variáveis de cinética de degradação da fibra em detergente neutro, carboidratos fibrosos e proteína insolúvel em detergente neutro, nas épocas 1 e 2, não sofreram influência da massa corporal dos animais, portanto não houve necessidade de ajustar os dados de acordo com a equação alométrica descrita por Brody (1945) e Kleiber (1975).

## Conclusões

A fibra em detergente neutro indigerível (FDN<sub>i</sub>) correspondeu a cerca de 21 a 40% e de 16 a 35% da FDN nas amostras de pasto, nas épocas 1 e 2, respectivamente.

O valor médio da repleção ruminal da fração indegradável, RR (I), foi aproximadamente 47% maior que a fração potencialmente degradável, RR(U), durante a época 1, enquanto na época 2 foi de 32%.

Os carboidratos fibrosos representaram aproximadamente 80% dos carboidratos totais presentes nas amostras de pasto colhidas pelos animais, em ambas as épocas do ano. O aumento da fração carboidrato fibroso indigerível (CF<sub>i</sub>), que ocorreu em detrimento da fração carboidrato fibroso digerível (CF<sub>d</sub>), resultou em maior efeito de repleção ruminal, podendo levar à redução da disponibilidade energética para os microrganismos que

fermentam carboidratos fibrosos e não-fibrosos, e a perdas de nitrogênio, na presença de fontes protéicas de rápida degradação ruminal.

O capim-brizanta apresentou proporção significativa de seu nitrogênio na forma de proteína de lenta degradação e proteína digestível insolúvel em detergente neutro (PIDN<sub>d</sub>), com média de 21 e 26%, nas épocas 1 e 2, respectivamente.

### Literatura Citada

ALBERTO, E. Efectos de la calidad de los forrajes y la suplementacion en el desempeño de rumiantes en pastoreo (com especial referencia a vacas lecheras). In: JOBIM, C.C.; SANTOS, G.T.; CECATO, U. (Ed.). **Simpósio sobre avaliação de pastagens com animais**. Maringá, PR. 1997. p.53-73.

ALLEN, M.S.; MERTENS, D.R. Evaluating constraints on fiber digestion by rumen. In: ANNUAL RUMINANT CONFERENCE, 28. American Institute of Nutrition, 1988. p.261-270.

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

BRODY, S. **Bioenergetics and growth with special reference to the efficiency complex in domestic animals**. Reinhold Publishing Corporation, Baltimore, Maryland, 1945, 1023p.

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, 2000.

CARDOSO, E.G. Suplementação de bovinos de corte em pastejo (semiconfinamento). In: SIMPÓSIO SOBRE PRODUÇÃO ANIMAL, 9, 1997, Piracicaba, SP. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1997. p.97-120.

DEL CURTO, T.; COCHRAN, R.C.; HARMON, D.L. et al. Supplementation of dormant tallgrass-prairie forage: I. Influence of varying supplemental protein and (or) energy levels on forage utilization characteristics of beef steers in confinement. **Journal of Animal Science**, v.68, p.515-531, 1990.

DOVE, H. The ruminant, the rumen and the pasture resource: nutrient interactions in the grazing animal. In: HODGSON, J.; ILLUS, A.W. (Ed.). **The ecology and management of grazing systems**. CAB International, 1996. p.219-246.

- ELLIS, W.C. Determinants of grazed forage intake and digestibility. **Journal of Dairy Science**, v.61, n.12, p.1828-1840, 1978.
- ELLIS, W.C.; MATIS, J.H.; HILL, T.H. et al. Methodology for estimating digestion and passage kinetics of forages. In: FAHEY Jr., G.C. (Ed.). **Forage quality, evaluation, and utilization**. American Society of Agronomy, Inc., Crop Science Society of America, Inc., Soil Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin, USA. 1994. p.682-756.
- EUCLIDES, V.P.B.; MACEDO, M.C.M.; OLIVEIRA, M.P. Produção de bovinos em pastagens de *Brachiaria* spp. consorciadas com *Calopogonium mucunoides* nos Cerrados. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.27, n.2, p.238-245, 1998.
- GUTHRIE, M.J.; WAGNER, D.G. Influence of protein or grain supplementation and increasing levels of soybean meal on intake, utilization and passage rate of prairie hay in beef steers and heifers. **Journal of Animal Science**, v.66, n.6, p.1529-1537, 1988.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. <http://www.ibge.gov.br>, 2002.
- JUDKINS, M.B.; KRYSL, L.J.; WALLACE, M.L. et al. Intake and diet selection by protein supplemented grazing steers. **Journal of Range Management**, v.38, n.3, p.210-214, 1985.
- JUDKINS, M.B.; WALLACE, J.D.; GALYEAN, M.L. et al. Passage rates, rumen fermentation, and weight change in protein supplemented grazing cattle. **Journal of Range Management**, v.40, n.2, p.100-105, 1987.
- KABEYA, K.S.; PAULINO, M.F.; DETMANN, E. et al. Suplementação de novilhos mestiços em pastejo na época de transição água-seca: desempenho produtivo, características físicas de carcaça, consumo e parâmetros ruminais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, n.1, p.213-222, 2002.
- KLEIBER, M. **The fire of life**. 2.ed., Robert E. Krieger Publishing Co., Huntington, New York, 1975, 453p.
- KRISHNAMOORTHY, U.; SNIFFEN, C.J.; STERN, M.D. et al. Evaluation of a mathematical model of rumen digestion and *in vitro* simulation of rumen proteolysis to estimate the rumen-undegraded nitrogen content of feedstuffs. **British Journal of Nutrition**, v.50, n.3, p.555-568, 1983.
- LICITRA, G.; HERNANDEZ, T.M.; VAN SOEST, P.J. Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feed. **Animal Feed Science and Technology**, v.57, n.4, p.347-358, 1996.

- LIRA, V.M.C. **Utilização de diferentes modelos matemáticos e marcadores para simulação da cinética digestiva e de trânsito do capim braquiária (*Brachiaria decumbens* Stapf.)**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2000. 90p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 2000.
- MALAFAIA, P.A.M.; VIEIRA, R.A.M. Técnicas de determinação e avaliação dos compostos nitrogenados em alimentos para ruminantes. In: TEIXEIRA, J.C. (Ed.). **Digestibilidade em ruminantes**. Lavras: UFLA, 1997. p.29-54.
- MALAFAIA, P.A.M.; VALADARES FILHO, S.C.V.; VIEIRA, R.A.M. Determinação e cinética ruminal das frações protéicas de alguns alimentos para ruminantes. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.26, n.6, p.1243-1251, 1997.
- MALAFAIA, P.A.M.; VALADARES FILHO, S.C.; VIEIRA, R.A.M. et al. Determinação das frações que constituem os carboidratos totais e da cinética ruminal da fibra em detergente neutro de alguns alimentos para ruminantes. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.27, n.4, p.790-796, 1998.
- MALAFAIA, P.A.M.; VALADARES FILHO, S.C.; VIEIRA, R.A.M. et al. Kinetic parameters of ruminal degradation estimated with a non-automated system to measure gas production. **Livestock Production Science**, v.58, p.65-73, 1999.
- McCOLLUM, F.T.; GALYEAN, M.L. Influence of cottonseed meal supplementation on voluntary intake, rumen fermentation and rate of passage of prairie hay in beef steers. **Journal of Animal Science**, v.60, n.2, p.570-577, 1985.
- MERTENS, D.R. Predicting intake and digestibility using mathematical models of ruminal function. **Journal of Animal Science**, v.64, p.1548-1558, 1987.
- MERTENS, D.R. Rate and extent of digestion. In: FORBES, J.M.; FRANCE, J. **Quantitative aspects of ruminant digestion and metabolism**. CAB International, Cambridge, 1993. p.13-51.
- MILFORD, R.; MINSON, D.J. Intake of tropical pasture species. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE PASTAGENS, 9, 1965, São Paulo. **Anais ...** São Paulo: Alarico, 1966. p.815-822.
- MINSON, D.J. **Forage in ruminant nutrition**. Academic Press, Inc. New York, 1990. 483 p.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL – NRC. **Nutrient Requirements of Dairy Cattle**. Sixth edition update. Washington, D.C., National Academic Press, 90p., 1989.



- NOCEK, J.E. In situ and other methods to estimate ruminal protein and energy digestibility: a review. **Journal of Dairy Science**, v.71, n.8, p.2051-2069, 1988.
- NOGUEIRA FILHO, J.C.M. Digestão microbiana da parede celular vegetal. In: BUTOLO, J.E.; JUNQUEIRA, O.M.; MIYADA, V.S. (Ed.). **Simpósio goiano sobre manejo e nutrição de bovinos**, 3. 2001, Goiânia, GO. **Anais...** Goiânia, GO: Colégio Brasileiro de Nutrição Animal, 2001. p.47-74.
- OLIVEIRA, R.L. **Avaliação de suplementos com diferentes teores de proteína não-degradável no rúmen para novilhas pardo-suíças em pastejo de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, , 2001. 53p. Dissertação (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 2001.
- PACIULLO, D.S.C.; GOMIDE, J.A.; QUEIROZ, D.S. et al. Composição química e digestibilidade in vitro de lâminas foliares e colmos de gramíneas forrageiras, em função do nível de inserção no perfilho, da idade e da estação de crescimento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.30, n.3, p.964-974, 2001.
- PATERSON, J.A.; BELYEA, R.L.; BOWMAN, J.P. et al. The impact of forage quality and supplementation regimen on ruminant animal intake and performance. In: FAHEY Jr., G.C. (Ed.). **Forage quality, evaluation, and utilization**. Madison: American Society of Agronomy, 1994. p.59-114.
- PEREIRA, J.C.; ALMEIDA, M.S.; CECON, P.R. et al. Dinâmica da degradação ruminal por novilhos mantidos em pastagem natural em diferentes épocas do ano. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, n.2, p.740-748, 2002.
- SANCHEZ, L.J.T.; NASCIMENTO Jr., D.; DIOGO, J.M.S. et al. Composição química da forragem disponível versus dieta de bovinos em pastagem natural. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.22, n.5, 852-861, 1993.
- SAS. **User's guide: statistics**, versão 6.12. SAS Inst. Inc., Cary, N.C. 1997.
- SCHOFIELD, P.; PITT, R.E.; PELL, A.N. Kinetics of fiber digestion from in vitro gas production. **Journal Animal Science**, v.72, p.2980-2991, 1994.
- 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.
- VAN MILGEN, J.; MURPHY, M.R.; BERGER, L.L. A compartmental model to analyze ruminal digestion. **Journal of Dairy Science**, v. 74, n.8, p.2515-2529, 1991.

- VAN SOEST, P.J. Symposium on factors influencing the voluntary intake of herbage by ruminants: voluntary intake in relation to chemical composition and digestibility. **Journal of Animal Science**, v.24, n.3, p.834-844, 1965.
- VAN SOEST, P.J. **Nutritional ecology of the ruminant**. 2.ed. Cornell University Press, Ithaca, New York, 1994. 476p.
- VAN SOEST, P.J.; ROBERTSON, J.B.; LEWIS, B.A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. **Journal of Dairy Science**, v.74, n.10, p.3583-3597, 1991.
- VIEIRA, R.A.M.; PEREIRA, J.C.; MALAFAIA, P.A.M. et al. The influence elephant-grass (*Pennisetum purpureum* Schum., Mineiro variety) growth on the nutrient kinetic in the rumen. **Animal Feed Science and Technology**, v.67, p.151-161, 1997.
- VIEIRA, R.A.M.; PEREIRA, J.C.; MALAFAIA, P.A.M. et al. Fracionamento e cinética de degradação *in vitro* dos compostos nitrogenados da extrusa de bovinos a pasto. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, n.3, p.880-888, 2000a.
- VIEIRA, R.A.M.; PEREIRA, J.C.; MALAFAIA, P.A.M. et al. Fracionamento dos carboidratos e cinética de degradação *in vitro* da fibra em detergente neutro da extrusa de bovinos a pasto. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, n.3, p.889-897, 2000b.
- WALDO, D.R.; SMITH, L.W.; COX, E.L. Model of cellulose disappearance from the rumen. **Journal of Dairy Science**, v.55, n.1, p. 125-129, 1972.
- WILSON, J.R. Cell wall characteristics in relation to forage digestion by ruminants. **Journal of Agricultural Science**, v.122, p.173-182, 1994.
- WILSON, J.R.; MERTENS, D.R. Cell wall accessibility and cell structure limitations to microbial digestion of forage. **Crop Science**, v.35, p.251-259, 1995.

**Cinética de Passagem de Partículas e de Fluidos por Bovinos  
Alimentados com *Brachiaria brizantha* (Hochst) Stapf. e Suplementos  
Contendo Diferentes Níveis de Proteína Não-Degradável no Rúmen**

**RESUMO:** Foram estudados os efeitos de suplementos com diferentes níveis de proteína não-degradável no rúmen (PNDR) sobre os parâmetros da cinética de passagem de partículas, em bovinos mantidos em pastagem de *Brachiaria brizantha*. As amostragens foram feitas em duas épocas do ano (época 1 = maio, junho e julho/2000 e época 2 = março, abril e maio/2001). Em ambas as épocas foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado, com três animais fistulados no esôfago e no rúmen, por tratamento e por período. Na época 1 os animais foram alojados em baias individuais e alimentados com suplementos contendo 20, 40 e 60% de PNDR e feno de *Brachiaria brizantha* e mistura mineral *ad libitum*, enquanto na época 2 foram distribuídos nos tratamentos: T<sub>0</sub> = pasto de capim-brizanta + mistura mineral *ad libitum* (PM); T<sub>40</sub> = PM + suplemento com 40% de PNDR; e T<sub>60</sub> = PM + suplemento com 60% de PNDR. Na estimativa da taxa de passagem da digesta pelo rúmen, utilizou-se como indicador da fase sólida o Cr-mordente, sendo o material da época 1 proveniente de pastejo simulado e o da época 2 oriundo de extrusa. A cinética de passagem de fluidos foi estimada com Co-EDTA, durante três períodos, de agosto a setembro/2001, tendo sido utilizados os mesmos animais e tratamentos da época 2. As estimativas dos parâmetros da cinética de passagem de partículas foram determinadas a partir do ajuste dos dados aos modelos bicompartimentais (G1G1, G2G1, G3G1, G4G1, G5G1 e G6G1), enquanto para a cinética de passagem de fluidos foi utilizado o modelo G1G1. Os critérios de escolha do melhor modelo foram a frequência observada dos valores mínimos para o quadrado médio residual obtido com os ajustes dos diferentes modelos e o número de corridas de sinal dos resíduos padronizados. Os modelos G2G1 e G3G1 mostraram-se mais eficientes na determinação das estimativas dos parâmetros de cinética de passagem de partículas, nas épocas 1 e 2, respectivamente. As estimativas do tempo médio de retenção ruminal de partículas e de fluidos não foram influenciadas pelos diferentes níveis de PNDR do suplemento.

**Palavras-chave:** Capim-brizanta, taxa de passagem, proteína de escape, suplementos.

**Passage Kinetic of Particles and Fluids by Steers Grazing *Brachiaria brizantha* (Hochst) Stapf. and Fed Supplements with Different Levels of Ruminant Undegradable Protein**

**ABSTRACT:** The effects of supplements with different levels of ruminant undegradable protein (RUP) on the passage kinetic parameters of particles by steers grazing *Brachiaria brizantha* pasture, were evaluated. Samplings were performed in two seasons of the year (season 1 – May, June and July/2000 and season 2 – March, April and May/2001). In both seasons a completely randomized design, with three esophageally and ruminally fistulated crossbred steers, by treatment and by period, was used. In the season 1, the animals were housed in individual stalls and fed supplements with 20, 40 and 60% RUP and *Brachiaria brizantha* hay and minerals *ad libitum*, whereas in the season 2 they were allotted to the treatments: T<sub>0</sub> = Palisadegrass pasture + minerals *ad libitum* (PM); T<sub>40</sub> = PM + supplement with 40% RUP; and T<sub>60</sub> = PM + supplement with 60% RUP. Chromium mordant technique in the solid phase – in the season 1 the material was from hand-plucked and in the season 2 the material was from extrusa – was used to estimate the ruminal digesta passage rate. Fluids passage kinetic was estimated by using Co-EDTA, during three periods, from August to September/2001, using the same animals from the treatments of season 2. The estimates of particles kinetic parameters were performed by adjusting data to the different bicompartimental (G1G1, G2G1, G3G1, G4G1, G5G1 e G6G1) models, whereas the model G1G1 was used to the fluids passage kinetic. The criteria to choose the best model was the observed frequency of minimum values for the average residual square obtained with the different models adjustments and the number of signal runs of standardized residues. G2G1 e G3G1 models were more efficient to determine the estimates of particles passage and kinetic parameters, in the seasons 1 and 2, respectively. The estimates of average ruminal retention time of particles and fluids were not affected by the different RUP levels of the supplement.

**Key Words:** Palisadegrass, passage rate, escape protein, supplements.

## Introdução

O processo digestivo nos ruminantes é um sistema dinâmico que envolve a entrada de alimentos no rúmen e a saída de líquidos, microrganismos e resíduos não-digeridos.

O rúmen é um sistema complexo, com conteúdos heterogêneos de digesta líquida e sólida. Apresenta-se estratificado em diferentes camadas, nas direções dorso-ventral e crânio-ventral, devendo-se ressaltar que os movimentos de contração e relaxamento das paredes musculares e pilares contribuem para manter a natureza contínua do processo de fermentação (Van Soest, 1994). De acordo com Reid (1963), citado por Thiago & Gill (1990). Tal fato ocorre principalmente devido à contribuição destes movimentos em: 1) dispersar o bolo alimentar ingerido; 2) misturar a saliva com a digesta, promovendo um equilíbrio eficiente do pH ruminal; 3) ajudar a inocular o alimento ingerido com os microrganismos; 4) assistir na fragmentação das partículas do alimento; e 5) facilitar a remoção dos produtos da digestão. Neste sentido, Thiago & Gill (1990) relataram que o movimento da partícula no ambiente ruminal é uma consequência de sua forma, seu tamanho, sua densidade e sua viscosidade, de maneira que partículas pesadas tendem a depositar-se no saco ventral do rúmen, enquanto partículas leves flutuam e constituem o que é chamado de *raft* (malha filtrante do rúmen). As partículas que permanecem na região ventral do rúmen, e que possuem densidade e granulometria adequadas, não são retidas seletivamente pelo orifício-omasal, tendo, então, acesso ao trato gastrointestinal inferior (Van Soest, 1994).

Para Martz & Belyea (1996), os ruminantes dispõem de um esforço considerável para mover a digesta. A densidade, a porcentagem de parede celular, a pressão osmótica e o pH podem afetar a propulsão, devendo ser ressaltado que partículas densas podem ir para o fundo e resistir ao escape, enquanto a parede celular pode reduzir a digestão e a passagem. A pressão osmótica ou o pH podem afetar a eficiência dos processos digestivos e o ritmo dos músculos do trato gastrointestinal. Segundo esses autores, as contrações ruminais podem ser mais freqüentes com digesta de forragem nova, do que com forragem madura de baixa qualidade, uma vez que as

contrações do rúmen não dependem de ruminação. O fato de a motilidade ser incrementada com forragem de alta qualidade e o fluxo por contração ser aumentado em virtude de mudanças na consistência física explicaria parcialmente a passagem rápida observada com gramíneas de alta qualidade (Gomes, 1991).

Na avaliação da passagem da digesta pelo intestino é essencial ter informações não somente sobre a anatomia e fisiologia do trato gastrointestinal, mas também conhecer as propriedades físicas do alimento e da digesta (Udén & Van Soest, 1982; Wilson, 1997; Pereira et al., 1999).

Martz & Balyea (1996) concluíram que partículas com tamanho menor que 1,2 mm escaparam do rúmen, não estando claro se este tamanho varia com a espécie forrageira ou com o tipo de alimentação. No entanto, Bae et al. (1983) verificaram elevação na resistência relativa das partículas a abandonarem o retículo-rúmen, no momento em que aumentava o consumo de matéria seca, apesar de, hipoteticamente, poder ser esperado incremento na probabilidade de partículas grandes abandonarem o retículo-rúmen.

Okine & Mathinson (1991) relataram aumento na proporção de partículas de 2 e 4 mm no rúmen, em razão de incremento na ingestão de alimento, pelo que se infere ter havido aumento na resistência relativa. Contudo, Queiroz et al. (1995) verificaram que as partículas da digestão, ao tentarem abandonar o rúmen, enfrentam resistência contínua ao fluxo, à medida que o tamanho da partícula aumenta até um ponto máximo de  $\pm 4$  mm.

Poppi et al. (1981) desenvolveram um modelo para descrever a taxa de passagem de partículas grandes e pequenas pelo rúmen. Os autores verificaram que, em estudos simulados de consumo, o fator mais importante na passagem de partículas foi o tempo de retenção das partículas pequenas (menor do que 1,18 mm) no rúmen e que a taxa de degradação das partículas maiores teve pouco efeito no tempo retenção da matéria seca.

As forrageiras tropicais, geralmente, apresentam lenta taxa de passagem pelo trato gastrointestinal e baixa degradação da fibra, resultando, conseqüentemente, em baixos consumo voluntário e desempenho animal. Na literatura têm-se encontrado efeitos benéficos da suplementação sobre a taxa de passagem (McCollum e Galyean, 1985), embora com o uso de

suplementos, efeitos nulos sobre esta variável sejam freqüentemente relatados (Judkins et al., 1987; Hess et al., 1996).

Adams & Kartchner (1984) usaram novilhos que receberam cinco níveis diferentes de feno de alfafa na dieta e verificaram que o aumento do consumo de matéria seca implicava o aumento linear da taxa de passagem de líquidos. Tal observação concorda com Lopez-Guisa & Satter (1991), que registraram o aumento de 23% no tempo médio de retenção de líquidos sob baixos níveis de consumo.

As informações disponíveis na literatura são limitadas no que diz respeito à influência da suplementação protéica sobre a estimativa de parâmetros da cinética de passagem de partículas e fluidos das diferentes espécies forrageiras, o que justifica esforços investigativos no sentido de determinar a relação entre os níveis de proteína não-degradável no rúmen e estas variáveis.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de suplementos contendo diferentes níveis de proteína não-degradável no rúmen sobre a cinética de passagem de partículas e fluidos em bovinos alimentados com *Brachiaria brizantha*, em duas épocas do ano.

## **Material e Métodos**

As características climáticas, a área experimental, os animais, os períodos de coleta do material e a dieta experimental para realização dos ensaios de cinética de passagem de partículas foram os mesmos descritos no artigo 1, para ambas as épocas.

As amostras utilizadas para complexação da fibra com cromo, na época 1, foram provenientes do pastejo simulado, em área de pastagem de *Brachiaria brizantha*, enquanto as amostras referentes à época 2 foram obtidas por meio de novilhos fistulados no esôfago.

Imediatamente após as coletas em cada período, as amostras da forrageira do pastejo simulado foram submetidas à moagem em moinho de martelos, sem peneiras e, em seguida, procedeu-se à secagem em estufa de ventilação forçada à temperatura de  $60 \pm 5^{\circ}\text{C}$ , por 72 horas, sendo então devidamente identificadas e armazenadas para complexação da fibra. No

caso da extrusa, as amostras foram coletadas e processadas conforme a técnica descrita por Pereira et al. (2002).

As amostras utilizadas para estimativa da cinética de passagem de partículas foram tratadas com dicromato de potássio, conforme metodologia descrita por Udén et al. (1980). O material preparado e devidamente seco em estufa de ventilação à temperatura de  $60 \pm 5$  °C foi administrado a três animais por tratamento e por período, em dose única, via fístula ruminal, embrulhado em saco de papel, na quantidade de 150 g.

O preparo do indicador cobalto-EDTA, utilizado na estimação da taxa de passagem de fluidos, seguiu a metodologia descrita por Udén et al. (1980). Posteriormente, o indicador foi fornecido a três animais por tratamento, em três períodos, compreendidos entre agosto e setembro de 2001, em dose única, pela manhã, na quantidade de 25 g de Co-EDTA, diluída em 400 mL de água destilada, via fístula ruminal. Os animais foram mantidos em pastagem de *Brachiaria brizantha*, sendo submetidos aos tratamentos experimentais:  $T_0$  = pasto;  $T_{40}$  = pasto e 2 kg de suplemento com 40% de PNDR; e  $T_{60}$  = pasto e 2 kg de suplemento com 60% de PNDR e mistura mineral *ad libitum*, cuja composição consta no artigo 1.

As fezes foram coletadas nos tempos zero (imediatamente após a administração da fibra complexada com cromo), 8, 16, 24, 28, 32, 36, 40, 44, 48, 52, 56, 60, 64, 72, 80, 88, 100, 112, 124 e 148 horas, para estimação dos parâmetros de cinética de passagem de partículas. No caso da cinética de passagem de fluidos, as fezes foram coletadas nesses mesmos tempos, acrescentando-se os tempos 4, 12 e 20 horas. Após a coleta nos respectivos tempos, as amostras foram secas em estufa de ventilação forçada à temperatura de  $60 \pm 5$  °C, durante 72 a 96 horas; processadas em moinhos tipo Willey, com peneira de crivo igual a 1 mm, e armazenadas para as análises subsequentes. As amostras de fezes foram submetidas à análise de seus teores de cromo, pelo método de Williams et al. (1962), enquanto os conteúdos de cobalto foram dosados e lidos conforme o manual da Varian (1989), sendo expressos em  $\text{mg kg}^{-1}$  MS fecal.

As estimativas dos parâmetros da cinética de passagem de partículas foram determinadas a partir do ajuste dos dados a diferentes modelos bicompartimentais, que descrevem o mecanismo de escape de partículas



com probabilidade gama distribuída no primeiro compartimento (malha filtrante do rúmen ou *raft*, constituído de partículas recém-ingeridas) e exponencialmente distribuída no segundo compartimento (superfície ventral do rúmen, constituído de partículas pequenas dispersas na fase líquida). Considerando as ordens de dependência da função gama,  $\Gamma(n, \lambda, t)$ , para  $n$  variando de 1 a 6, as seguintes equações são obtidas (Pond et al., 1988; Moore et al., 1992):

$$Y(t_i) = \frac{C \lambda [\exp(-kt_i) - \exp(-\lambda t_i)]}{\lambda - k} + e_i \quad (1)$$

$$Y(t_i) = C [\delta^2 \exp(-kt_i) - \exp(-\lambda t_i) (\delta \lambda t_i + \delta^2)] + e_i \quad (2)$$

$$Y(t_i) = C \left[ \delta^3 \exp(-kt_i) - \exp(-\lambda t_i) \left( \frac{\delta \lambda^2 t_i^2}{2} + \delta^2 \lambda t_i + \delta^3 \right) \right] + e_i \quad (3)$$

$$Y(t_i) = C \left[ \delta^4 \exp(-kt_i) - \exp(-\lambda t_i) \left( \frac{\delta \lambda^3 t_i^3}{6} + \frac{\delta^2 \lambda^2 t_i^2}{2} + \delta^3 \lambda t_i + \delta^4 \right) \right] + e_i \quad (4)$$

$$Y(t_i) = C \left[ \delta^5 \exp(-kt_i) - \exp(-\lambda t_i) \left( \frac{\delta \lambda^4 t_i^4}{24} + \frac{\delta^2 \lambda^3 t_i^3}{6} + \frac{\delta^3 \lambda^2 t_i^2}{2} + \delta^4 \lambda t_i + \delta^5 \right) \right] + e_i \quad (5)$$

$$Y(t_i) = C \left[ \delta^6 \exp(-kt_i) - \exp(-\lambda t_i) \left( \frac{\delta \lambda^5 t_i^5}{120} + \frac{\delta^2 \lambda^4 t_i^4}{24} + \frac{\delta^3 \lambda^3 t_i^3}{6} + \frac{\delta^4 \lambda^2 t_i^2}{2} + \delta^5 \lambda t_i + \delta^6 \right) \right] + e_i \quad (6)$$

em que  $C$  ( $\text{mg kg}^{-1}$  MS fecal) corresponde à concentração inicial do indicador no segundo compartimento do rúmen;  $\lambda$  ( $\text{h}^{-1}$ ) representa a taxa de passagem no compartimento com probabilidade de escape de partículas gama distribuída;  $k$  ( $\text{h}^{-1}$ ) equivale à taxa de passagem no compartimento com probabilidade de escape de partículas exponencialmente distribuída;  $t$  (h) corresponde ao tempo após o fornecimento do indicador;  $\delta = \lambda / (\lambda - k)$ ;  $e_i$  representa o erro aleatório. Para incorporar o tempo de retardo ou de trânsito ( $\tau$ ) no modelo, basta substituir nas equações anteriores, o componente  $t_i$  por  $(t_i - \tau)$ . Nestes modelos, convencionalmente, supõe-se que  $k < \lambda$ .

As equações de 1 a 6 representam os modelos G1G1, G2G1, G3G1, G4G1, G5G1 e G6G1. Estas funções são simétricas em relação às taxas de passagem  $\lambda$  e  $k$ . Assim, nos casos em que os valores de  $\lambda$  tendem a  $k$ , estas expressões resultam em uma indeterminação do tipo 0/0, sendo necessária a reparametrização por meio da aplicação da regra de L'Hôpital, chegando-se aos modelos descritos a seguir:

$$Y(t_i) = C\theta \exp(-\theta t_i) + e_i, \text{ de G1G1} \quad (7)$$

$$Y(t_i) = \frac{C\theta^2 t_i^2 \exp(-\theta t_i)}{2} + e_i, \text{ de G2G1} \quad (8)$$

$$Y(t_i) = \frac{C\theta^3 t_i^3 \exp(-\theta t_i)}{6} + e_i, \text{ de G3G1} \quad (9)$$

$$Y(t_i) = \frac{C\theta^4 t_i^4 \exp(-\theta t_i)}{24} + e_i, \text{ de G4G1} \quad (10)$$

$$Y(t_i) = \frac{C\theta^5 t_i^5 \exp(-\theta t_i)}{120} + e_i, \text{ de G5G1} \quad (11)$$

$$Y(t_i) = \frac{C\theta^6 t_i^6 \exp(-\theta t_i)}{720} + e_i, \text{ de G6G1} \quad (12)$$

em que  $\theta$  corresponde à taxa de passagem usada nos casos em que  $\lambda$  tendeu a  $k$ .

Os parâmetros  $\lambda$ ,  $k$ ,  $\tau$  e  $C$  foram estimados por meio do algoritmo de Marquardt, utilizando-se o método iterativo de mínimos quadrados não-lineares do programa SAS (1997), conforme sugerido por Moore et al. (1992). As combinações das 27 observações correspondentes aos três tratamentos, três animais e três períodos foram submetidas ao ajuste dos seis modelos, tendo sido os critérios de escolha do melhor modelo a frequência observada dos valores mínimos para o quadrado médio residual obtido com os ajustes dos mesmos (Pond et al., 1988; Moore et al., 1992; Huhtanen & Kukkonen, 1995) e o número de corridas de sinal dos resíduos padronizados (Draper & Smith, 1966). Desta forma, os modelos selecionados nas duas épocas foram empregados para obtenção das

estimativas dos tempos médios de retenção ruminal de partículas (TMRR), de acordo com a expressão (Lira, 2000):

$$\text{TMRR}, h = \frac{n}{\lambda} + \frac{1}{k} \quad (13)$$

em que  $n$  representa a ordem de dependência da função gama.

As estimativas dos parâmetros de cinética de passagem de fluidos foram obtidas por meio do ajuste do modelo descrito na equação 1. Nos casos em que os valores de  $\lambda$  tenderam a  $k$ , procedeu-se à reparametrização da equação 1, com a aplicação da regra de L'Hôpital, chegando-se à equação 7. O tempo médio de retenção da fase líquida (TMRL) foi calculado de acordo com a expressão:

$$\text{TMRL}, h = \frac{1}{k_l} \quad (14)$$

em que  $k_l$  ( $h^{-1}$ ) representa a taxa de passagem de fluidos pelo rúmen-retículo.

Assim como para as concentrações de cromo, foram traçados perfis de excreção do cobalto para que se pudesse fazer julgamento crítico da dispersão dos dados e eliminação daqueles cuja representação gráfica não correspondia ao evento real. Posteriormente, as concentrações de cromo e cobalto nas fezes foram corrigidas para suas concentrações obtidas nos tempos zero (imediatamente após o fornecimento do indicador) e 148 horas, respectivamente.

As variáveis TMRR e TMRL foram avaliadas quanto à dispersão dos dados e verificadas para o ajustamento ao modelo sugerido por Brody (1945) e por Kleiber (1975), definido pela equação alométrica descrita no artigo 1.

Os dados referentes à TMRR, de ambas as épocas, e à TMRL foram submetidos à análise estatística, conforme procedimento adotado no artigo 1. Além disto, utilizou-se a estatística  $t$  para construção dos intervalos de confiança para os parâmetros de cinética de passagem de partículas, adotando-se  $1-\alpha=0,95$ .

## Resultados e Discussão

O entendimento dos processos digestivos que ocorrem nos sistemas multicompartimentais dos ruminantes requer estudos do fluxo da digesta através do trato gastrintestinal. Assim, há necessidade de escolher adequadamente os modelos que melhor representem a cinética de passagem da digesta. Neste trabalho, foram analisadas inicialmente as estimativas dos parâmetros obtidas nos diferentes modelos bicompartimentais, considerando as ordens de dependência da função gama,  $\Gamma(n,\lambda,t)$ , para  $n$  variando de 1 a 6, nas épocas 1 e 2.

O comportamento das curvas nos diferentes modelos bicompartimentais está representado nos Quadros 1 e 2, para a época 1, e nos Quadros 1 e 3, para a época 2. Considerando as freqüências observadas dos valores mínimos para o quadrado médio residual como o primeiro critério na escolha do modelo a ser utilizado na descrição da cinética de passagem de partículas (Van Milgen et al., 1991), pode-se inferir que os modelos G2G1 e G6G1 (época 1) e os modelos G3G1 e G6G1 (época 2) foram os mais apropriados, por apresentarem maior freqüência de valores mínimos para o quadrado médio residual. A persistência da melhor qualidade de ajuste dos modelos G2G1 e G6G1 (época 1) e dos modelos G3G1 e G6G1 (época 2) torna-se evidente ao analisar a distribuição das curvas de acordo com o número de corridas de sinal dos resíduos padronizados, cujas estimativas de freqüências acumuladas foram semelhantes para 12 corridas de sinal (Quadros 2 e 3). Estes critérios, no entanto, não contemplam o fato de o aumento na ordem de dependência da função gama influenciar o pico e as fases ascendentes e descendentes da curva (Pond et al., 1988; Ellis et al., 1994; Huhtanen & Kukkonen, 1995), o que resulta na redução sistemática do tempo de trânsito (Figuras 1a e 2a), no aumento da taxa de passagem de partículas com probabilidade de escape gama distribuída (Figuras 1b e 2b) e, conseqüentemente, na superestimação do tempo médio de retenção ruminal. Portanto, a opção pelo modelo mais simples, com menor  $n$ , acarreta a obtenção de estimativas mais verossímeis dos parâmetros, pois os eventos da retenção do indicador no rúmen-retículo e de seu trânsito, em fluxo laminar pelo restante do trato gastrintestinal, são mais bem explicados

Quadro 1 – Distribuição das curvas de acordo com a frequência dos mínimos valores observados para o quadrado médio residual obtido para os diferentes modelos (G1G1, G2G1, G3G1, G4G1, G5G1 e G6G1) ajustados aos perfis de excreção fecal do indicador de fase sólida, para as épocas 1 e 2

Modelos	Época 1	Época 2
	Frequências	Frequências
G1G1	4	2
G2G1	8	2
G3G1	2	7
G4G1	2	5
G5G1	2	2
G6G1	9	9

Quadro 2 – Distribuição das curvas de acordo com o número de corridas de sinal dos resíduos padronizados para cada modelo (G1G1, G2G1, G3G1, G4G1, G5G1 e G6G1) ajustado aos perfis de excreção fecal do indicador de fase sólida, para a época 1

Modelos		Número de Corridas de Sinal						
		7	8	9	10	11	12	13
G1G1	$f_i$	9	7	2	7	-	2	
	$f_{ac}$	0,33	0,59	0,67	0,93	0,93	1,00	1,00
G2G1	$f_i$	4	3	3	8	2	3	4
	$f_{ac}$	0,15	0,26	0,37	0,67	0,74	0,85	1,00
G3G1	$f_i$	2	4	-	6	3	7	5
	$f_{ac}$	0,07	0,22	0,22	0,44	0,56	0,81	1,00
G4G1	$f_i$	-	4	2	4	1	10	6
	$f_{ac}$	-	0,15	0,22	0,37	0,41	0,78	1,00
G5G1	$f_i$	-	4	1	4	2	12	4
	$f_{ac}$	-	0,15	0,19	0,33	0,41	0,85	1,00
G6G1	$f_i$	-	4	2	4	2	12	3
	$f_{ac}$	-	0,15	0,22	0,37	0,44	0,89	1,00

$f_i$  representa a frequência observada e  $f_{ac}$  corresponde à estimativa da frequência acumulada.

Quadro 3 – Distribuição das curvas de acordo com o número de corridas de sinal dos resíduos padronizados para cada modelo (G1G1, G2G1, G3G1, G4G1, G5G1 e G6G1) ajustado aos perfis de excreção fecal do indicador de fase sólida, para a época 2

Modelos	Número de Corridas de Sinal									
		6	7	8	9	10	11	12	13	≥ 14
G1G1	$f_i$	14	3	4	2	3	1	—	—	—
	$f_{ac}$	0,52	0,63	0,78	0,85	0,96	1,00	1,00	1,00	1,00
G2G1	$f_i$	4	5	7	3	3	3	1	1	—
	$f_{ac}$	0,15	0,33	0,59	0,70	0,82	0,93	0,96	1,00	1,00
G3G1	$f_i$	1	4	6	4	6	4	1	1	—
	$f_{ac}$	0,04	0,18	0,41	0,56	0,78	0,93	0,96	1,00	—
G4G1	$f_i$	2	3	5	5	7	1	2	—	2
	$f_{ac}$	0,07	0,18	0,37	0,56	0,82	0,85	0,93	0,93	1,00
G5G1	$f_i$	1	4	6	4	6	1	3	—	2
	$f_{ac}$	0,04	0,18	0,41	0,56	0,78	0,82	0,93	0,93	1,00
G6G1	$f_i$	2	4	7	3	5	—	3	—	3
	$f_{ac}$	0,07	0,22	0,48	0,59	0,78	0,78	0,89	0,89	1,00

$f_i$  representa a frequência observada e  $f_{ac}$  corresponde à estimativa da frequência acumulada.

pelo modelo. Esta escolha do modelo mais simples também foi recomendada por Moore et al. (1992), embora pautada apenas no critério de maior frequência de valores de quadrados mínimos. No caso das estimativas dos parâmetros C e k, há aumento até a ordem de dependência gama 2 e 3 para as épocas 1 (Figuras 1c e 1d) e 2 (Figuras 2c e 2d), respectivamente, seguida, em ambos os casos, de uma queda nas estimativas até a ordem de dependência gama 6. Essas duas estimativas correlacionaram-se positivamente ( $P < 0,05$ ), o que pode ser explicado pelo efeito de diluição do indicador no segundo compartimento do rúmen (partículas pequenas dispersas na fase líquida), aliado à menor taxa de passagem de partículas (probabilidade de escape exponencialmente distribuída).

O modelo G1G1 foi originalmente utilizado para descrever os perfis de excreção fecal do Cr-EDTA, marcador mais indicado para representar o fluxo de líquidos pelo TGI (Grover & Williams, 1973). Tal fato pode justificar a inadequação deste modelo à cinética de passagem de partículas, observada no presente trabalho.

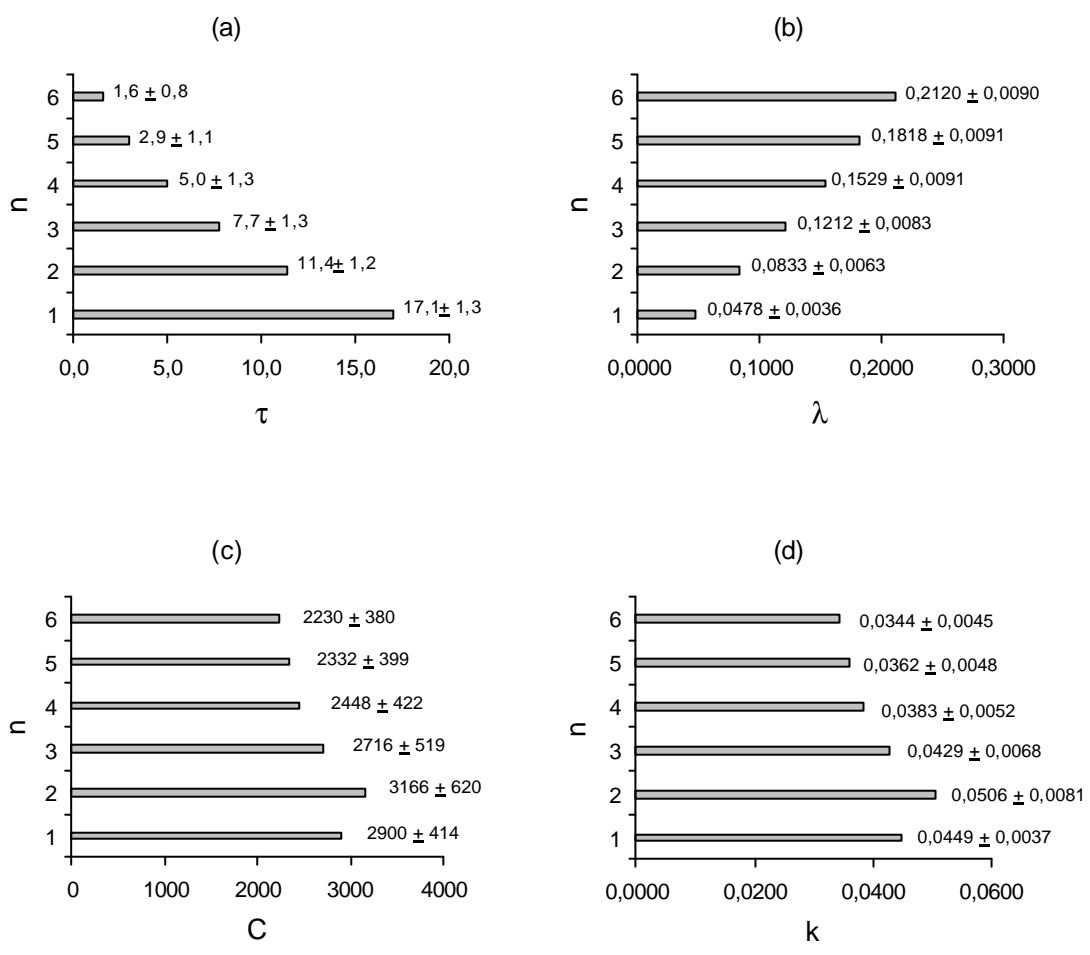


Figura 1 – Estimativas dos intervalos de confiança para os parâmetros  $\tau$  (a),  $\lambda$  (b),  $C$  (c) e  $\kappa$  (d) dos respectivos modelos bicompartimentais GnG1, na época 1.

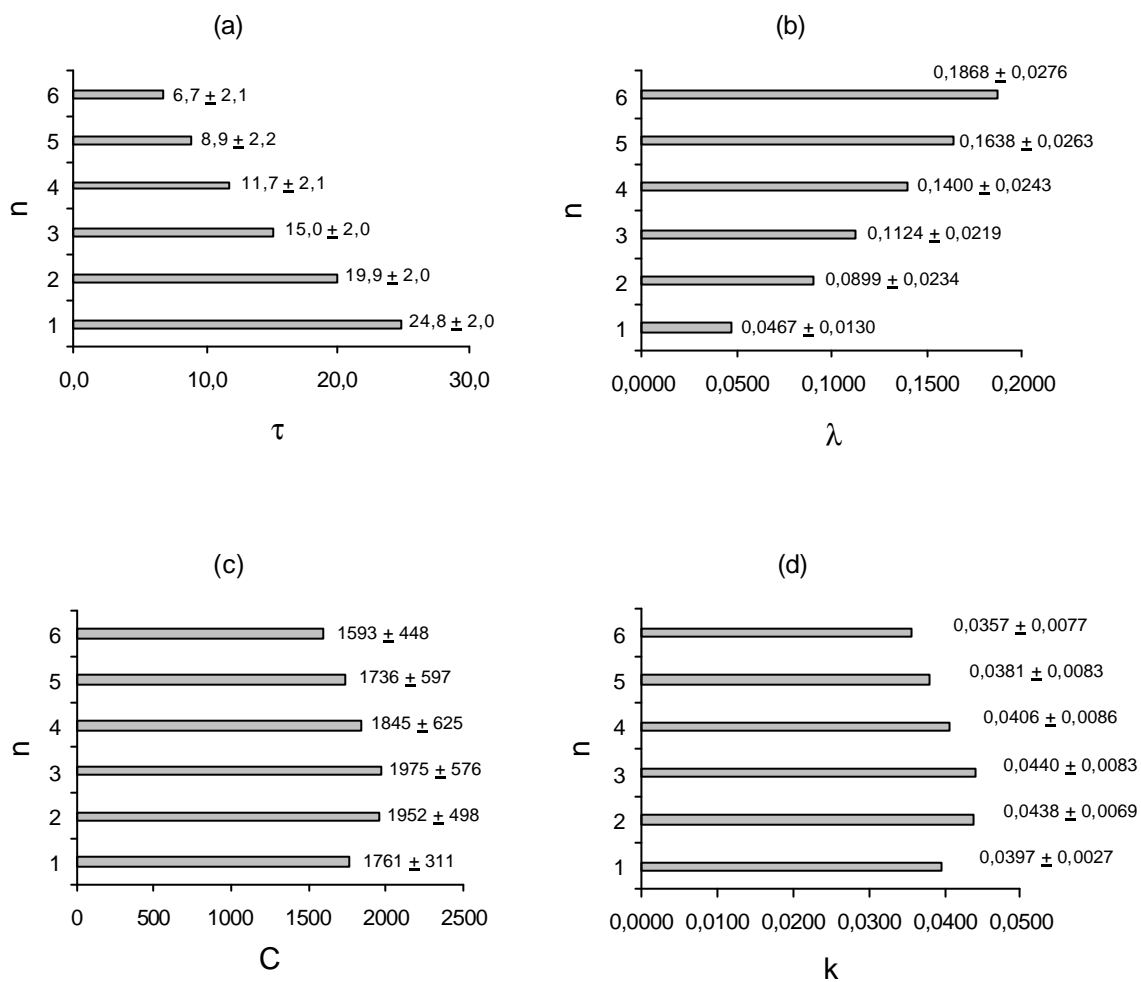


Figura 2 – Estimativas dos intervalos de confiança para os parâmetros  $\tau$  (a),  $\lambda$  (b),  $C$  (c) e  $\kappa$  (d) dos respectivos modelos bicompartimentais GnG1, na época 2.



As estimativas pontuais e por intervalo das taxas de passagem associadas às partículas recém-ingeridas tenderam às estimativas das taxas de passagem associadas às partículas dispersas na fase líquida, obtidas com o ajuste do modelo G1G1 em 17 dos 27 perfis obtidos para a época 1 (Figuras 1b e 1d) e em 26 dos 27 perfis obtidos durante a época 2 (Figuras 2b e 2d); esta situação também pode ser observada nos resultados apresentados por Ellis et al. (1994) e por Lira (2000), os quais podem ser atribuídos aos seguintes fatores: 1) ajuste de um modelo que especifica dois compartimentos tempo-independentes em seqüência a perfis que possam resultar, em verdade, de três ou mais compartimentos seqüenciais tempo-independentes; 2) existência de dois compartimentos com aproximadamente a mesma massa, não distinguíveis estatisticamente; ou 3) o problema de um dos compartimentos seqüenciais ser tempo-dependente em vez de dois compartimentos tempo-independentes. Além disto, o fato de  $\lambda$  tender a  $k$  é inconsistente com a hipótese de haver dois compartimentos seqüenciais, podendo resultar em consideráveis erros de estimação para  $\lambda$  (Ellis et al., 1994). Esta particularidade, entretanto, não foi constatada no presente trabalho, visto que as amplitudes estimadas para os intervalos de confiança foram menores com o modelo G1G1, quando comparadas com os de ordem de dependência superior (Figuras 1b e 2b). Nestes casos em que as estimativas de  $\lambda$  tendem a  $k$ , o método de ajuste apresenta problemas de convergência e de singularidade. Uma alternativa para superá-los é a reparametrização do modelo, representada pela equação 7, que resulta na redução do quadrado médio residual e do número de iterações para atingir o critério de convergência e na eliminação do problema de singularidade. Foi também constatada, em alguns casos, a necessidade de reparametrização dos modelos de ordem de dependência superior; dos 27 perfis obtidos durante a época 1, 11 foram ajustados ao modelo G2G1 reparametrizado, e dos 27 perfis obtidos durante a época 2, 12, 6, 3, 1 e 1 foram, respectivamente, ajustados aos modelos reparametrizados de G2G1, G3G1, G4G1, G5G1 e G6G1, representados pelas equações 8, 9, 10, 11 e 12.

Diferenças no tipo de dieta (Pond et al., 1988; Moore et al., 1992; Huhtanen et al., 1995), no tamanho de partículas complexadas com o indicador (Ellis et al., 1979; Quiroz et al., 1988) e na espécie animal (Quiroz

et al., 1988; Moore et al., 1992) podem influenciar a escolha do modelo para descrever a cinética de passagem de partículas. No presente estudo, o material utilizado para complexação com o indicador foi proveniente de pastejo simulado (época 1), tendo sido moído duas vezes em picadeira de martelo, enquanto as amostras referentes à época 2 foram obtidas por meio de novilhos fistulados no esôfago, sem sofrer qualquer moagem.

Estudando modelos não-lineares para descrever a cinética de passagem, Quiroz et al. (1988) concluíram que o modelo biexponencial G1G1 foi o mais apropriado para a fase líquida, visto que a mistura do indicador nesta fase deve ocorrer de forma mais rápida, comparado ao da fase sólida, o que reduz a dependência de tempo no processo de excreção do indicador. Em se tratando de fase sólida, os autores relataram que o modelo bicompartimental G2G1 foi o mais versátil para partículas pequenas e médias e que o modelo bicompartimental G3G1 o foi para partículas grandes.

Com base no conceito de que existem no rúmen dois compartimentos, sendo o primeiro constituído de partículas recém-ingeridas (malha filtrante do rúmen ou *raft*) e o segundo de partículas pequenas dispersas na fase líquida (Hungate, 1966), e de que as taxas de passagem,  $\lambda$  e  $k$ , estão associadas a processos que ocorrem nesse segmento do trato gastrointestinal (Ellis et al., 1979), o tempo médio de retenção ruminal (TMRR) para os modelos G2G1 (época 1) e G3G1 (época 2) foi calculado conforme as expressões:

$$\text{TMRR (G2G1), } h = \frac{2}{\lambda} + \frac{1}{k}; e$$

$$\text{TMRR (G3G1), } h = \frac{3}{\lambda} + \frac{1}{k}.$$

O TMRR é uma variável de grande importância em estudos de nutrição de ruminantes, pois determina o fluxo da digesta pelo trato gastrointestinal, que, no caso das forrageiras tropicais, de modo geral, apresenta valores altos, principalmente em razão do elevado teor de fibra, acarretando baixo consumo voluntário (Kennedy & Murphy, 1988; Van Soest, 1994).

O TMRR não foi influenciado pelos diferentes níveis de proteína não-degradável no rúmen (Quadro 4), apresentando valores médios de 48,7 horas (época 1) (Quadro 5) e de 59,2 horas (época 2) (Quadro 6), resultando assim em taxas de passagem de partículas ( $k_p$ ,  $h^{-1}$ ) de 0,0205 e 0,0169, respectivamente; próximas a 0,02, valor sugerido pelo AFRC (1993) para o plano de nutrição equivalente à manutenção dos animais. Trabalhando com novilhos mestiços com média de massa corporal de 250 kg, mantidos em pastagem de *Brachiaria decumbens*, sem suplementação, Lira (2000) encontrou TMRR de 51,1 e 41,5 horas, no inverno e verão, respectivamente. Conduzindo estudos com bezerros holandeses com média de massa corporal de  $107 \pm 11$  kg e alimentados com feno de capim coast-cross (65 g PB  $kg^{-1}$  MS, 823 g FDN  $kg^{-1}$  MS e 862 g CT  $kg^{-1}$  MS CT) e níveis crescentes de concentrado, Bürger et al. (2000) não encontraram diferenças entre os tratamentos para o TMRR, cujo valor médio foi de 49,3 horas; resultado semelhante ao relatado na época 1. No entanto, McCollum & Galyean (1985), em estudo com novilhos hereford, com massa corporal inicial de 214 kg, recebendo feno (61 g PB  $kg^{-1}$  MS e 677 g FDN  $kg^{-1}$  MS) e farelo de algodão, encontraram efeitos da suplementação protéica sobre o TMRR. De acordo com Ellis (1978) e Caton et al. (1988), diferenças no TMRR resultantes da suplementação protéica ocorrem, normalmente, quando a forragem apresenta teores protéicos inferiores a 60 g  $kg^{-1}$  MS, situação não verificada no presente trabalho.

A diferença de TMRR entre as duas épocas pode ser explicada pelo tamanho da partícula complexada com o indicador, beneficiando o material oriundo da época 1, pois, até certo limite, menor partícula resultará em maior taxa de passagem (Faichney, 1993; Gomes et al., 1994). De acordo com Van Soest (1994), o processamento do material por moagem ou por peletização promove a desestruturação física da parede celular e o aumento da densidade, o que resulta em menor tempo de retenção. Especificamente na época 1, houve diferença significativa entre os períodos (Quadro 5), com os maiores valores verificados no período 1 (maio); tal fato pode ser explicado pela amostragem da forrageira, possivelmente com maior participação de colmos e material senescente.

Quadro 4 – Níveis descritivos dos testes (valores P) realizados para verificação dos efeitos de tratamentos (t), períodos (p), interação (tp), tratamento dentro de período (t/p) e período dentro de tratamento (p/t), da cinética de passagem, nas épocas 1 e 2

Variável	t	QMR(a)	CV <sub>1</sub> <sup>1/</sup>	p	tp	QMR(b)	CV <sub>2</sub> <sup>2/</sup>	t/p <sub>1</sub>		t/p <sub>2</sub>		t/p <sub>3</sub>		p/t <sub>1</sub>	p/t <sub>2</sub>	p/t <sub>3</sub>
								$\hat{b}_1$	$\hat{b}_2$	$\hat{b}_1$	$\hat{b}_2$	$\hat{b}_1$	$\hat{b}_2$			
Época 1																
Taxa de Passagem de Partículas																
TMRR	2,9x10 <sup>-1</sup>	189,6897	28,28	3,2x10 <sup>-3</sup>	n.s. <sup>3/</sup>	41,3325	13,20	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Época 2																
Taxa de Passagem de Partículas																
TMRR	2,9x10 <sup>-1</sup>	191,0733	23,34	3,7x10 <sup>-1</sup>	n.s. <sup>3/</sup>	66,4797	13,77	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Taxa de Passagem de Líquidos <sup>4/</sup>																
TMRL	n.s.	20,10028	21,81	n.s.	7,9x10 <sup>-2</sup>	19,11978	21,27	-	-	-	-	-	-	-	-	-

<sup>1/</sup>  $CV_1 = 100 \times \sqrt{QMR(a)} / \hat{\mu}$  e <sup>2/</sup>  $CV_2 = 100 \times \sqrt{QMR(b)} / \hat{\mu}$ ; <sup>3/</sup> n.s. = não-significativo, usado quando  $F < 1$ ; e <sup>4/</sup> período de agosto a setembro/2001.

Quadro 5 – Valores médios da cinética de passagem de partículas e estimativas pontuais e por intervalo dos parâmetros da regressão, na época 1

Períodos	Tratamentos			Equação	IC( $\beta_i$ ) <sub>0,95</sub> <sup>1/</sup>		
	T <sub>20</sub>	T <sub>40</sub>	T <sub>60</sub>		b <sub>0</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>
TMRR							
Média gerais para períodos			Regressão ajustada para tratamentos				
P <sub>1</sub>	56,4 a <sup>2/</sup>			$\hat{Y} = 48,7$	(42,2; 55,2)	-	-
P <sub>2</sub>	45,4 b						
P <sub>3</sub>	44,4 b						

<sup>1/</sup> IC( $\beta_i$ )<sub>0,95</sub> corresponde ao intervalo de confiança para  $\beta_i$ , com nível de confiança de 0,95; e <sup>2/</sup> Médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem pelo teste de Tukey (P < 0,05).

Quadro 6 – Valores médios da cinética de passagem de partículas e estimativas pontuais e por intervalo dos parâmetros da regressão, na época 2

Tratamentos			Equação	IC( $\beta_i$ ) <sub>0,95</sub> <sup>1/</sup>		
T <sub>0</sub>	T <sub>40</sub>	T <sub>60</sub>		b <sub>0</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>
Regressão ajustada para tratamentos			TMRR $\hat{Y} = 59,2$	(52,7; 65,7)	-	-

<sup>1/</sup> IC( $\beta_i$ )<sub>0,95</sub> corresponde ao intervalo de confiança para  $\beta_i$ , com nível de confiança de 0,95.

O sucesso em estimar o TMRR, com base nos perfis de excreção fecal do indicador, depende do seu comportamento ao longo do trato gastrointestinal. Considerando que, até o momento, não se conhece nenhum indicador ideal (Udén et al., 1980; Owens & Hanson, 1992; Faichney, 1993), o uso de um método alternativo, que exclua a necessidade do uso do indicador, pode ser recomendado (Thiago & Gill, 1990). Este método de obtenção da estimativa do TMRR da fibra consiste no esvaziamento e na amostragem do conteúdo ruminal em intervalos específicos de tempo (Aitchison et al., 1986; Lascano & Quiroz, 1990; Dado & Allen, 1995; Huhtanen & Kukkonen, 1995). De acordo com Dado & Allen (1995), o TMRR da fibra é calculado ao dividir o conteúdo ruminal, em kg, pelo consumo médio, por hora, em kg, de fibra indigestível, baseando-se no modelo de primeira ordem de dois compartimentos proposto por Waldo et al. (1972) para digestão de celulose, aplicado para fibra. O método assume que as taxas de passagem da fibra digestível e indigestível são iguais e que a taxa de consumo de fibra indigestível é um bom indicador da taxa de passagem, considerando que ela só pode desaparecer do rúmen por passagem, uma vez que sua digestibilidade seria nula (Waldo et al., 1972). Em estudos utilizando essa técnica, Dado & Allen (1995) e Huhtanen & Kukkonen (1995) encontraram valores de TMRR de 41,7 e 60,6 horas para fibra indigestível, respectivamente, próximos aos relatados nas épocas 1 e 2 deste trabalho.

O tempo médio de retenção de líquidos (TMRL) não foi afetado pelos níveis de proteína não-degradável no rúmen da dieta (Quadro 4), apresentando valor médio de 20,6 horas (Quadro 7). Essa ausência de efeito observada é concordante com Judkins et al. (1987) e Hess et al. (1996), que concluíram que em novilhos mantidos em pastagens com teores protéicos superiores a  $60 \text{ g kg}^{-1} \text{ MS}$ , como observado neste trabalho (artigo 1), a suplementação não influi na TMRL, o que contraria os resultados encontrados por Caton et al. (1988). Vale ressaltar que esses autores dosaram o indicador no rúmen, obtendo valores inferiores aos do presente trabalho. De acordo com Huhtanen & Kukkonen (1995), a amostragem do indicador no rúmen subestima o TMRL, em comparação com a sua dosagem nas fezes, adotada neste estudo.

Quadro 7 – Valores médios da cinética de passagem de líquidos e estimativas pontuais e por intervalo dos parâmetros da regressão

Tratamentos			Equação	IC( $\beta_i$ ) <sub>0,95</sub> <sup>1/</sup>		
T <sub>0</sub>	T <sub>40</sub>	T <sub>60</sub>		b <sub>0</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>
Regressão ajustada para tratamentos			TMRL $\hat{Y} = 20,6$	(18,4; 22,7)	-	-

<sup>1/</sup> IC( $\beta_i$ )<sub>0,95</sub> corresponde ao intervalo de confiança para  $\beta_i$ , com nível de confiança de 0,95.



As estimativas do TMRR e TMRL não sofreram influência da massa corporal dos animais, portanto não houve necessidade de ajustar os dados de acordo com a equação alométrica descrita por Brody (1945) e Kleiber (1975).

### **Conclusões**

A utilização de modelos para descrever a cinética de passagem de partículas deve ser criteriosa, uma vez que o tipo de dieta, a categoria animal e o tamanho das partículas complexas com o indicador influenciam a sua escolha. Neste trabalho, os modelos G2G1 e G3G1 mostraram-se mais eficientes na determinação das estimativas dos parâmetros de cinética de passagem de partículas, nas épocas 1 e 2, respectivamente.

As estimativas do tempo médio de retenção ruminal de partículas e de fluidos não foram influenciadas pela suplementação. Essa ausência de efeito pode ser atribuída aos níveis de proteína bruta do pasto, superiores a  $60 \text{ g kg}^{-1} \text{ MS}$ .

### **Literatura Citada**

- ADAMS, D.C.; KARTCHNER, R.J. Effect of level of forage intake on rumen ammonia, pH, liquid volume and liquid dilution rate in beef cattle. **Journal of Animal Science**, v.58, n.3, p.708-713, 1984.
- AFRC – AGRICULTURAL AND FOOD RESEARCH COUNCIL. **Energy and protein requirements of ruminants**. CAB International, Cambridge University Press Cambridge, 1993, 159p.
- AITCHISON, E.; GILL, M.; FRANCE, J. et al. Comparison of methods to describe the kinetics of digestion and passage of fibre in sheep. **Journal of Science Food Agricultural**, v.37, p.1065-1072, 1986.
- BAE, D.H.; WELCH, J.G.; GILMAN, B.E. Mastication and rumination in relation to body size of cattle. **Journal of Dairy Science**, v.66, n.10, p.2137-2141, 1983.
- BRODY, S. **Bioenergetics and growth with special reference to the efficiency complex in domestic animals**. Reinhold Publishing Corporation, Baltimore, Maryland, 1945, 1023p.

- BÜRGER, P.J.; PEREIRA, J.C.; SILVA, J.F.C. et al. Taxas de passagem e cinética de degradação ruminal em bezerros holandeses alimentados com dietas contendo diferentes níveis de concentrado. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, n.1, p.225-235, 2000.
- CATON, J.S.; FREEMAN, A.S.; GALYEAN, M.L. Influence of protein supplementation on forage intake, in situ forage disappearance, ruminal fermentation and digesta passage rates in steers grazing dormant blue grama rangeland. **Journal of Animal Science**, v.66, n.9, p.2262-2271, 1988.
- DADO, R.G.; ALLEN, M.S. Intake limitations, feeding behavior, and rumen function of cows challenged with rumen fill from dietary fiber or inert bulk. **Journal of Dairy Science**, v.78, n.1, p.118-133, 1995.
- DRAPER, N.R.; SMITH, H. **Applied regression analysis**. John Wiley & Sons, Inc., New York, USA, 1966. 407 p.
- ELLIS, W.C. Determinants of grazed forage intake and digestibility. **Journal of Dairy Science**, v.61, n.12, p.1828-1840, 1978.
- ELLIS, W.C.; MATIS, J.H.; LASCANO, C. Quantitating ruminal turnover. **Federation Proceedings**, v.38, n.13, p.2702-2706, 1979.
- ELLIS, W.C.; MATIS, J.H.; HILL, T.H. et al. Methodology for estimating digestion and passage kinetics of forages. In: FAHEY Jr., G.C. (Ed.). **Forage quality, evaluation, and utilization**. American Society of Agronomy, Inc., Crop Science Society of America, Inc., Soil Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin, USA. 1994. p.682-756.
- FAICHNEY, G.J. Digesta flow. In: FORBES, J.M.; FRANCE, J. **Quantitative aspects of ruminant digestion and metabolism**. Commonwealth Agricultural Bureaux, Cambridge University Press, England, 1993. p.53-85.
- GOMES, B.V. **Influência das características químicas e físicas das forragens sobre o consumo, degradação e cinética da digesta ruminal**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1991. 115p. Dissertação (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 1991.
- GOMES, B.V.; QUEIROZ, A.C.; FONTES, C.A.A. et al. Estudo das características físico-químicas de feno e palhas. I. Efeitos sobre a ingestão, digestibilidade aparente e taxa de passagem da matéria seca, pH e concentração de amônia ruminal. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v.23, n.3, p.352-365, 1994.

- GROVUM, W.L.; WILLIAMS, V.J. Rate of passage of digesta in sheep. 4. Passage of marker through the alimentary tract and the biological relevance of rate-constants derived from the changes in concentration of marker in faeces. **British of Journal Nutrition**, v. 30, n.3, p.313-329, 1973.
- HESS, B.W.; KRYSL, L.J.; JUDKINS, M.B. et al. Supplemental cracked corn or wheat bran for steers grazing endophyte-free fescue pasture: effects on live weight gain, nutrient quality, forage intake, particulate and fluid kinetics, ruminal fermentation, and digestion. **Journal of Animal Science**, v. 74, p.1116-1125, 1996.
- HUHTANEN, P.; KUKKONEN, U. Comparison of methods, markers, sampling sites and models for estimating digesta passage kinetics in cattle fed at two levels of intake. **Animal Feed Science and Technology**, v.52, p.141-158, 1995.
- HUHTANEN, P.; JAAKKOLA, S.; KUKKONEN, U. Ruminal plant cell wall digestibility estimated from digestion and passage kinetics utilizing mathematical models. **Animal Feed Science and Technology**, v.52, p.159-173, 1995.
- HUNGATE, R.E. **The rumen and its microbes**. New York, Academic Press, 1966. 533p.
- JUDKINS, M.B.; WALLACE, J.D.; GALYEAN, M.L. et al. Passage rates, rumen fermentation, and weight change in protein supplemented grazing cattle. **Journal of Range Management**, v.40, n.2, p.100-105, 1987.
- KENNEDY, P.M.; MURPHY, M.R. The nutritional implications of differential passage of particles through the ruminant alimentary tract. **Nutrition Research Reviews**, v.1, n.1, p.189-208, 1988.
- KLEIBER, M. **The fire of life**. 2.ed., Robert E. Krieger Publishing Co., Huntington, New York, 1975, 453p.
- LASCANO, C.; QUIROZ, R. Metodología para estimar la dinámica de la digestión en rumiantes. In: RUIZ, M.E.; RUIZ, A. (Ed.). **Nutrición de rumiantes: guía metodológica de investigación**, 1990. Cap. II. Analisis biológico y tasa de digestion., 1990, San José, Costa Rica, IICA-RISPAL, 1990. p.89-104.
- LIRA, V.M.C. **Utilização de diferentes modelos matemáticos e marcadores para simulação da cinética digestiva e de trânsito do capim braquiária (*Brachiaria decumbens* Stapf.)**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2000. 90p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 2000.

- LOPEZ-GUISA & SATTER, L.D. Effect of forage source on retention of digesta markers applied to corn gluten and brewers grains for heifers. **Journal of Dairy Science**, v.74, n.12, p.4297-4304, 1991.
- MARTZ, F.A.; BELYEA, R.L. Role of particle size and forage quality in digestion and passage by cattle and sheep. **Journal of Dairy Science**, v.69, n.7, p.1996-2008, 1996.
- McCOLLUM, F.T.; GALYEAN, M.L. Influence of cottonseed meal supplementation on voluntary intake, rumen fermentation and rate of passage of prairie hay in beef steers. **Journal of Animal Science**, v.60, n.2, p.570-577, 1985.
- MOORE, J.A.; POND, K.R.; POORE, M.H. et al. Influence of model and marker on digesta kinetic estimates for sheep. **Journal of Animal Science**, v.70, p.3526-3540, 1992.
- OKINE, E.K.; MATHINSON, G.W. Effects of feed intake on particle distribution, passage of digesta, and extent of digestion in the gastrointestinal tract of cattle. **Journal of Animal Science**, v.69, n.8, p.3435-3445, 1991.
- OWENS, F.N.; HANSON, C.F. External and internal markers for appraising site and extent of digestion in ruminants. **Journal of Dairy Science**, v.75, n.9, p.2605-2617, 1992.
- PEREIRA, J.C.; FREITAS, S.P.; QUEIROZ, A.C. et al. Características físicas da digesta de bezerros provenientes de rebanhos leiteiros alimentados com dietas contendo diferentes níveis de concentrado. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v.28, n.4, p.850-858, 1999.
- PEREIRA, J.C.; ALMEIDA, M.S.; CECON, P.R. et al. Dinâmica da degradação ruminal por novilhos mantidos em pastagem natural em diferentes épocas do ano. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, n.2, p.740-748, 2002.
- POND, K.R.; ELLIS, W.C.; MATIS, J.H. et al. Compartment models for estimating attributes of digesta flow in cattle. **British Journal of Nutrition**, v.60, n.3, p.571-595, 1988.
- POPPI, D.P.; MINSON, D.J.; TERNOUTH, J.H. Studies of cattle and sheep eating leaf and stem fractions of grasses. III. The retention time in the rumen of large feed particles. **Aust. J. Agric. Res.**, v.32, n.1, p.123-137, 1981.
- QUEIROZ, A.C.; SANCHEZ, N.R.; RESENDE, F.D. et al. Tamanho crítico de partícula e resistência relativa à passagem da partícula da digesta pelo retículo-rúmen, em ruminantes de diferentes grupos genéticos. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v.25, n.3, p.553-567, 1995.

- QUIROZ, R.A.; POND, K.R.; TOLLEY, E.A. et al. Selection among nonlinear for rate of passage studies in ruminants. **Journal of Animal Science**, v. 66, n.11, p.2977-2986, 1988.
- SAS. **User's guide: statistics**, versão 6.12. SAS Inst. Inc., Cary, N.C. 1997.
- THIAGO, L.R.L.S.; GILL, M. **Consumo voluntário: fatores relacionados com a degradação e passagem da forragem pelo rúmen**. Campo Grande, EMBRAPA-CNPGC, 1990. 65p. (EMBRAPA-CNPGC. Documentos, 43).
- UDÉN, P.; COLUCCI, P.E.; VAN SOEST, P. J. Investigation of chromium, cerium and cobalt as markers in digesta. Rate of passage studies. **Journal Science Food Agricultural**, v.31, n.7, p.625-632, 1980.
- UDÉN, P.; VAN SOEST, P.J. The determination of digesta particle size in some herbivores. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v.7, n.1, p.35-44, 1982.
- VAN MILGEN, J.; MURPHY, M.R.; BERGER, L.L. A compartmental model to analyze ruminal digestion. **Journal of Dairy Science**, v. 74, n.8, p.2515-2529, 1991.
- VAN SOEST, P.J. **Nutritional ecology of the ruminant**. 2.ed. Ithaca: Cornell. 1994. 476p.
- VARIAN. **Analytical methods**. Varian Australia Pty Ltd. Publication No 85-100009-00, revised March 1989. 146p.
- WALDO, D.R.; SMITH, L.W.; COX, E.L. Model of cellulose disappearance from the rumen. **Journal of Dairy Science**, v.55, n.1, p. 125-129, 1972.
- WILLIAMS, C.H.; DAVID, D.J.; IISMAA, O. The determination of chromic oxide in faeces samples by atomic absorption spectrophotometry. **Journal of Agricultural Science**, v.59, n.3, p.381-385, 1962.
- WILSON, J.R. Structural and anatomical traits of forages influencing their nutritive value for ruminants. In: GOMIDE, J.A. (Ed.). **Simpósio internacional sobre produção animal em pastejo**, 1997. Viçosa, MG. **Anais...** 1997. p.173-208.

### 3. RESUMO E CONCLUSÕES

Este trabalho foi realizado no Instituto Barreiro de Biotecnologia (IBB), localizado na Fazenda Barreiro Ltda., município de Silvânia, Estado de Goiás, para avaliar os efeitos de suplementos com diferentes níveis de proteína não-degradável no rúmen (PNDR) sobre os parâmetros da cinética de degradação *in situ* da fibra em detergente neutro (FDN), carboidratos fibrosos (CF) e proteína insolúvel em detergente neutro (PIDN) e da cinética de passagem de partículas, em bovinos mantidos em pastagem de *Brachiaria brizantha*, durante três períodos experimentais. As amostragens foram feitas em duas épocas do ano (época 1 – maio, junho e julho/2000 e época 2 – março, abril e maio/2001). Em ambas as épocas foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado, com três novilhos mestiços fistulados no esôfago e rúmen, por tratamento e por período. Na época 1, os animais foram alojados em baias individuais e alimentados com suplementos com 20, 40 e 60% de PNDR e feno de *Brachiaria brizantha* e mistura mineral *ad libitum*, enquanto na época 2 foram distribuídos nos tratamentos: T<sub>0</sub> = pasto de capim-brizanta+ mistura mineral *ad libitum* (PM); T<sub>40</sub> = PM + suplemento com 40% de PNDR; e T<sub>60</sub> = PM + suplemento com 60% de PNDR.

A cinética de passagem de fluidos foi realizada em três períodos, de agosto a setembro/2001, permanecendo os novilhos (três por tratamento e por período) em pastagem de *Brachiaria brizantha*, recebendo os mesmos tratamentos da época 2.

A degradabilidade *in situ* da FDN, CF e PIDN da extrusa foi determinada mediante o uso dos tempos de incubação de 3, 6, 9, 12, 24, 36, 72 e 96 horas, sendo os perfis obtidos interpretados cineticamente, por intermédio do modelo logístico decrescente. A taxa de passagem de partículas foi estimada com Cr-mordente fixado à parede celular de material proveniente de pastejo simulado (época 1) e da extrusa (época 2). A taxa de passagem de fluidos pelo rúmen foi determinada, utilizando-se como indicador o Co-EDTA.

As estimativas dos parâmetros da cinética de passagem de partículas foram determinadas a partir do ajuste dos dados aos modelos bicompartimentais (G1G1, G2G1, G3G1, G4G1, G5G1 e G6G1), enquanto para a cinética de passagem de fluidos foi utilizado o modelo G1G1. As comparações dos modelos foram feitas por meio da frequência observada dos valores mínimos para o quadrado médio residual obtido com os ajustes dos diferentes modelos e o número de corridas de sinal dos resíduos padronizados.

A fibra em detergente neutro indigerível (FDN<sub>i</sub>) correspondeu a cerca de 21 a 40% e de 16 a 35% da FDN nas amostras de pasto, nas épocas 1 e 2, respectivamente.

O valor médio da repleção ruminal da fração indegradável, RR (I), foi 47% maior que a fração potencialmente degradável, RR(U), durante a época 1, enquanto na época 2 foi de 32%.

Os carboidratos fibrosos representaram aproximadamente 80% dos carboidratos totais presentes nas amostras de pasto colhidas pelos animais, em ambas as épocas do ano. O aumento da fração carboidrato fibroso indigerível (CF<sub>i</sub>) que ocorreu em detrimento da fração carboidrato fibroso digerível (CF<sub>d</sub>) resultou em maior efeito de repleção ruminal, podendo levar à redução da disponibilidade energética para os microrganismos que fermentam carboidratos fibrosos e não-fibrosos e a perdas de nitrogênio, na presença de fontes protéicas de rápida degradação ruminal.

A *Brachiaria brizantha* apresentou proporção significativa de seu nitrogênio na forma de proteína de lenta degradação, proteína digestível insolúvel em detergente neutro (PIDN<sub>d</sub>), média de 21 e 26%, nas épocas 1 e 2, respectivamente.

Os modelos G2G1 e G3G1 mostraram-se mais eficientes na determinação das estimativas dos parâmetros de cinética de passagem de partículas, nas épocas 1 e 2, respectivamente. As estimativas do tempo médio de retenção ruminal de partículas e de fluidos não foram influenciadas pelos diferentes níveis de PNDR do suplemento.



## **APÊNDICE**

# APÊNDICE A

## Protocolo de Entrada dos Dados no SAS – Modelo Logístico Decrescente

```
data bevaldo;
title CINÉTICA DE DEGRADAÇÃO DA FIBRA - EXTRUSA - ÉPOCA 2;
input
T      RA113  RA123  RA133  RA213  RA223  RA233  RA313  RA 323  RA 333;
cards;
0
3      589    632    657    628    607    621    586    619    562
6      564    640    596    570    527    625    566    593    624
9      512    559    618    583    573    535    553    564    523
12     492    489    527    508    479    463    513    476    425
24     388    363    430    389    492    402    389    354    320
36     294    288    332    327    283    339    264    246    254
72     230    234    207    240    238    266    204    197    203
96     196    219    221    209    220    260    185    208    183
.;
PROC NLIN METHOD=MARQUARDT;
PARMS U=400
      I=200
      c=.06
      p=.1;
bounds 0<=u<=1000, 0<=i<=1000, 0<=c<=1, 0<=p<=10;
model RA223=u*(c*exp(-p*t)-p*exp(-c*t))/(c-p)+i;
run;
```

## Protocolo de Saída dos Resultados nos SAS – Modelo Logístico Decrescente

CINÉTICA DE DEGRADAÇÃO DA FIBRA: EXTRUSA ÉPOCA 2

1

Non-Linear Least Squares Iterative Phase	Dependent Variable	RA223	Method: Marquardt		
Iter	U	I	C	P	Sum of Squares
0	400.000000	200.000000	0.060000	0.100000	17129.266810
1	382.306385	205.886422	0.051501	0.076196	13257.584725
2	380.082957	207.291927	0.053611	0.073758	13229.551799
3	378.988780	208.270866	0.055422	0.071418	13216.475557
4	378.340896	208.880559	0.056974	0.069531	13208.510837
5	377.945565	209.256445	0.058254	0.068043	13203.684546
6	377.703548	209.487294	0.059288	0.066883	13200.782110
7	377.555787	209.628491	0.060109	0.065987	13199.046111
8	377.465929	209.714472	0.060756	0.065296	13198.011296
9	377.411501	209.766607	0.061261	0.064764	13197.395677
10	377.378653	209.798099	0.061654	0.064355	13197.029851
11	377.358890	209.817058	0.061959	0.064041	13196.561600
12	377.347031	209.828442	0.062195	0.063800	13196.683625
13	377.339930	209.835261	0.062378	0.063614	13196.607072
14	377.335685	209.839338	0.062519	0.063471	13196.561639
15	377.333152	209.841772	0.062628	0.063361	13196.534676
16	377.331641	209.843224	0.062711	0.063277	13196.518676
17	377.330742	209.844089	0.062776	0.063212	13196.509181
18	377.330206	209.844603	0.062826	0.063162	13196.503546
19	377.329888	209.844910	0.062865	0.063123	13196.500202
20	377.329698	209.845092	0.062894	0.063093	13196.498218
21	377.329586	209.845200	0.062917	0.063070	13196.497041
22	377.329519	209.845264	0.062935	0.063053	13196.496342
23	377.329479	209.845302	0.062948	0.063039	13196.495928
24	377.329456	209.845325	0.062959	0.063029	13196.495682
25	377.329442	209.845339	0.062967	0.063021	13196.495536
26	377.329433	209.845347	0.062973	0.063014	13196.495449

NOTE: Convergence criterion met.

Non-Linear Least Squares Summary Statistics			Dependent Variable RA223
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square
Regression	3	1617024.7346	539008.2449
Residual	5	13196.4954	2639.2991
Uncorrected Total	8	1630221.2300	
(Corrected Total)	7	169624.3688	

NOTE: The (approximate) Hessian is singular.

Parameter	Estimate	Asymptotic	Std. Error	Asymptotic 95 % Confidence Interval	
				Lower	Upper
U	377.3294334	50.576400030	247.32054249	507.33832422	
I	209.8453465	46.921774074	89.23083458	330.45985844	
C	0.0629728	0.035538633	-0.02838082	0.15432646	
P	0.0630144	0.000000000	0.06301442	0.06301442	

CINÉTICA DE DEGRADAÇÃO DA FIBRA: EXTRUSA ÉPOCA 2

2

Asymptotic Correlation Matrix					
Corr	U	I	C	P	
U	1	-0.755667948	-0.246743527	.	
I	-0.755667948	1	0.6984375921	.	
C	-0.246743527	0.6984375921	1	.	
P	.	.	.	1	

Pode-se observar que no exemplo anterior, as estimativas dos parâmetros do modelo não-linear,  $c$  e  $p$ , aproximam-se, conferindo singularidade. Neste caso, procedeu-se à reparametrização do modelo, com base na regra de L'Hôpital.

## Protocolo de Entrada dos Dados no SAS – Modelo Logístico Decrescente Reparametrizado

```

data bevaldor;
title CINÉTICA DE DEGRADAÇÃO DA FIBRA - EXTRUSA – ÉPOCA 2;
input
T      RA113  RA123  RA133  RA213  RA223  RA233  RA313  RA323  RA333;
cards;
0      .      .      .      .      .      .      .      .      .
3      589    632    657    628    607    621    586    619    562
6      564    640    596    570    527    625    566    593    624
9      512    559    618    583    573    535    553    564    523
12     492    489    527    508    479    463    513    476    425
24     388    363    430    389    492    402    389    354    320
36     294    288    332    327    283    339    264    246    254
72     230    234    207    240    238    266    204    197    203
96     196    219    221    209    220    260    185    208    183
;
PROC NLIN METHOD=MARQUARDT;
PARMS U=400
      I=200
      l=.06;
      bounds 0<=u<=1000, 0<=i<=1000, 0<=l<=10;
model ra223=u*(1+l*t)*exp(-l*t)+i;
run;

```

## Protocolo de Saída dos Resultados no SAS – Modelo Logístico Decrescente Reparametrizado

CINÉTICA DE DEGRADAÇÃO DA FIBRA: EXTRUSA ÉPOCA 2

1

Non-Linear Iter	Least Squares U	Iterative Phase I	Dependent Variable L	RA223 Sum of Squares	Method: Marquardt
0	400.000000	200.000000	0.060000	14231.669559	
1	378.176298	209.261960	0.062760	13197.979942	
2	377.316967	209.884559	0.063015	13196.499639	
3	377.330958	209.841241	0.062991	13196.495369	
4	377.329255	209.845794	0.062994	13196.495323	

NOTE: Convergence criterion met.

### Non-Linear Least Squares Summary Statistics

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square
Regression	3	1617024.7347	539008.2449
Residual	5	13196.4953	2639.2991
Uncorrected Total	8	1630221.2300	
(Corrected Total)	7	169624.3688	

Parameter	Estimate	Asymptotic Std. Error	Asymptotic 95 % Confidence Interval	
			Lower	Upper
U	377.3292553	50.574128910	247.32620246	507.33230816
I	209.8457942	46.916871278	89.24388508	330.44770323
L	0.0629939	0.017777987	0.01729475	0.10869296

### Asymptotic Correlation Matrix

Corr	U	I	L
U	1	-0.755616816	-0.24657431
I	-0.755616816	1	0.6983620157
L	-0.24657431	0.6983620157	1

Obs.: Quando  $p$  tende a  $c$ , considerar  $p = c = l$ .

## APÊNDICE B

### Protocolo de Entrada dos Dados no SAS - Modelo G1G1 Completo

```

data beval do;
title MODELO G1G1 - CINÉTICA DE PASSAGEM DE PARTÍCULAS - ÉPOCA 2 - CROMD; input
TAD      CRA111  CRA121  CRA131  CRA211  CRA221  CRA231  CRA311  CRA321  CRA331;
cards;
  0          0          0          0          0          0          0          0          0          0
  8          0          0          0          0          0          0          0          0          0
 16         21         16         15         31         57         33         55         11         53
22.5       38         30         72         93         76         139        358         51         161
 24         .          .          .          .          .          .          .          .          .
 28         .          .          .          .          .          .          .          .          .
 32         142        120        341        281        191        372        919        233         .
 36         170        219        455        336        296        427        991        310        413
 40         200        318        613        443        350        535        1666       396        508
 44         377        511         .          457        422        539        1713       463        474
 48         486        604        753        520        453        556        1709       517        548
 52         593        671        780        536        484        515        1728       595        509
 56         714        741        810        493        522        424        1752       530        516
 60         648        767        846        469        462        497        1519       552        481
 64         673        812        744        413        440        386        1350         .          441
70.5       612        822        673        394         .          413        1257         .          457
 72         .          .          .          .          .          .          .          .          .
 80         .          706        464        262        313        262        927        483        340
 88         491        593        342        189        220        182        546        422        283
100        415        383        163        114        195        128        278        304        167
112        289        296        234         88        117         79        129        254        142
124        232        187        101         63         64         44         69        188         .
148         95         60         27         30         35         19         28         90         40
;
proc nlin method=marquardt;
parms c=1000
      l=.07
      k=.001
      tt=20;
bounds 0<c, 0<l, 0<k, 0<=tt;
t=tad-tt;
if t<0 then go to alpha;
model CRA231=c*1*(exp(-k*t) - exp(-l*t))/(1-k);
go to beta;
alpha:
model CRA231=0;
beta: ;
run;

```

## Protocolo de Saída dos Resultados no SAS - MODELO G1G1 Completo

MODELO G1G1 - CINÉTICA DE PASSAGEM DE PARTÍCULAS – ÉPOCA 2 - CROMD

1

Non-Linear Iter	Least Squares C	Iterative Phase L	Dependent Variable K	CRA231 TT	Method: Marquardt Sum of Squares
0	1000.000000	0.070000	0.001000	20.000000	5293709
1	570.469699	0.098456	0.006652	20.528889	345530
2	796.255729	0.062622	0.020535	20.079554	79942.596781
3	1069.166433	0.054467	0.032568	20.572852	31558.947709
4	1305.656723	0.044280	0.040394	20.524436	27940.001048
5	1367.064478	0.045238	0.042063	20.645800	25486.282844
6	1407.384753	0.043672	0.043190	20.611700	25439.985774
7	1413.967389	0.043603	0.043398	20.621757	25434.876065
8	1416.594516	0.043517	0.043474	20.620762	25434.696598
9	1417.142309	0.043503	0.043492	20.621131	25434.686508
10	1417.292711	0.043499	0.043496	20.621142	25434.685917
11	1417.328113	0.043498	0.043497	20.621155	25434.685880

NOTE: Convergence criterion met.

Non-Linear Least Squares Summary Statistics			Dependent Variable CRA231
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square
Regression	3	2339011.9941	779670.6647
Residual	17	25434.6859	1496.1580
Uncorrected Total	20	2364446.6800	
(Corrected Total)	19	824765.6480	

NOTE: The (approximate) Hessian is singular.

Parameter	Estimate	Asymptotic Std. Error	Asymptotic 95 % Confidence Interval	
			Lower	Upper
C	1417.328113	0.0000000000	1417.3281135	1417.3281135
L	0.043498	0.00284321172	0.0374993	0.0494966
K	0.043497	0.00171061261	0.0398882	0.0471063
TT	20.621155	0.75588229522	19.0263925	22.2159182

### Asymptotic Correlation Matrix

Corr	C	L	K	TT
C	1			
L	.	1		
K	.	0.4570787696	1	
TT	.	0.4820863791	0.4161019671	1

Obs.:  $l = \lambda$ ;  $tt = \tau$

Pode-se observar que no exemplo anterior, as estimativas dos parâmetros do modelo não-linear,  $k$  e  $\lambda$ , aproximam-se, conferindo singularidade. Neste caso, procedeu-se à reparametrização do modelo, com base na regra de L'Hôpital.

## Protocolo de Entrada dos Dados no SAS - Modelo G1G1 Reparametrizado

```

data beval dor;
title MODELO G1G1 - CINÉTICA DE PASSAGEM DE PARTÍCULAS - ÉPOCA 2 - CROMD;
input
TAB      CRA111  CRA121  CRA131  CRA211  CRA221  CRA231  CRA311  CRA321  CRA331;
cards;
  0          0          0          0          0          0          0          0          0          0
  8          0          0          0          0          0          0          0          0          0
 16         21         16         15         31         57         33         55         11         53
22.5       38         30         72         93         76         139        358         51         160
 24         .          .          .          .          .          .          .          .          .
 28         .          .          .          .          .          .          .          .          .
 32         142        120        341        281        191        372        919        233         .
 36         170        219        455        336        296        427        991        310        413
 40         200        318        613        443        350        535       1666       396        508
 44         377        511         .          457        422        539       1713       463        474
 48         486        604        753        520        453        556       1709       517        548
 52         593        671        780        536        484        515       1728       595        509
 56         714        741        810        493        522        424       1752       530        516
 60         648        767        846        469        462        497       1519       552        481
 64         673        812        744        413        440        386      1350         .          440
70.5       612        822        673        394         .          413      1257         .          457
 72         .          .          .          .          .          .          .          .          .
 80         .          706        464        262        313        262        927        483        340
 88         491        593        342        189        220        182        546        422        283
100        415        383        163        114        195        128        278        304        167
112        289        296        234         88        117         79        129        254        142
124        232        187        101         63         64         44         69        188         .
148         95         60         27         30         35         19         28         90         40
;
proc nlin method=marquardt;
parms c=1000
      l=.07
      tt=20;
bounds 0<=c, 0<l, 0<=tt;
t=tad-tt;
if t<0 then go to alpha;
model CRA231=c*l*exp(-l*t)*t;
go to beta;
alpha:
model CRA231=0;
beta:
run;

```



## Protocolo de Saída dos Resultados no SAS - Modelo G1G1 Reparametrizado

MODELO G1G1 - CINÉTICA DE PASSAGEM DE PARTÍCULAS - ÉPOCA 2 - CROMD

1

Non-Linear Least Squares Iterative Phase	Dependent Variable	CRA231	Method: Marquardt
Iter	C	L	TT
0	1000.000000	0.070000	20.000000
1	1211.762162	0.043150	21.236360
2	1394.133135	0.043093	20.523359
3	1417.473914	0.043539	20.630337
4	1417.281345	0.043492	20.620083
5	1417.347770	0.043498	20.621304
6	1417.338981	0.043498	20.621139

NOTE: Convergence criterion met.

### Non-Linear Least Squares Summary Statistics

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square
Regression	3	2339011.9941	779670.6647
Residual	17	25434.6859	1496.1580
Uncorrected Total	20	2364446.6800	
(Corrected Total)	19	824765.6480	

Parameter	Estimate	Asymptotic Std. Error	Asymptotic 95 % Confidence Interval	
			Lower	Upper
C	1417.338981	41.740224619	1329.2753240	1505.4026384
L	0.043498	0.001965708	0.0393503	0.0476448
TT	20.621139	0.755884905	19.0263705	22.2159072

### Asymptotic Correlation Matrix

Corr	C	L	TT
C	1	0.5120447233	0.2571692725
L	0.5120447233	1	0.5296962079
TT	0.2571692725	0.5296962079	1

Obs.: No modelo G1G1 reparametrizado,  $l = k = \theta$