

**Universidade de São Paulo  
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Avaliação da fibra fisicamente efetiva em rações para bovinos de  
corte**

**Rodrigo Silva Goulart**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor  
em Ciência. Área de concentração: Ciência Animal  
e Pastagens

**Piracicaba  
2010**

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

Rodrigo Silva Goulart  
Médico Veterinário

**Avaliação da fibra fisicamente efetiva em rações para bovinos de corte**

Orientador:  
Prof. Dr. **LUIZ GUSTAVO NUSSIO**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor  
em Ciência. Área de concentração: Ciência Animal  
e Pastagens

**Piracicaba  
2010**

*“Devemos cuidar da educação do nosso coração com o mesmo interesse e esmero que cuidamos do nosso cérebro. Se é vergonhosa a ignorância intelectual, mais ainda é a ignorância moral. Nem todos podem ser sábios, mas todos podem ser bons. A bondade também é força, e a mais poderosa e fecunda de todas, porque é força que constrói, é força que edifica. É com ela que removeremos os obstáculos e as pedras de tropeço do caminho da nossa evolução, na conquista de todos os bens, na escala às regiões luminosas onde a Vida é eterna, e o amor, sem restrições nem intermitências, reina em todas as almas”.*

*(Pedro de Camargo)*



## *AGRADEÇO*

*A Deus por guiar os meus passos e iluminar o meu caminho durante todos os dias da minha vida;*

*Aos meus pais Reginaldo e Cássia pela educação plantada em meu coração desde pequeno, pelo amor, sorrisos, abraços, lágrimas, despedidas e chegadas.*

*A minha bela irmã Juliana pelo amor incondicional e carinho.*

*A querida Ana Vitória pela sua presença inesquecível em minha vida.*

*E a todas as pessoas que me ajudaram, ajudam e vibram pelas minhas conquistas.*

## *DEDICO*

*“Educa e transformarás a irracionalidade em inteligência, a inteligência em humanidade e a humanidade em angelitude”.*

*(Emmanuel)*



## AGRADECIMENTOS

Gostaria de fazer alguns agradecimentos não por uma simples prática burocrática obrigatória, mas sim pela certeza que para chegar ao fim desse trabalho, muitas foram as pessoas que contribuíram, oferecidas gratuitamente, em formas de idéias e estímulos, sem as quais este trabalho seria ainda mais difícil, se não impossível.

Por isso desejo registrar minha gratidão a algumas pessoas por motivos diferentes.

Ao prof. Dr. Luiz Gustavo Nussio, agradeço pela orientação precisa, amizade e pelos conhecimentos compartilhados durante todos esses anos.

Ao prof. Dr. Ricardo Augusto Mendonça Vieira, agradeço pelos ensinamentos e orientação, amizade e alegria.

Aos intelectuais responsáveis por estimular minha curiosidade, incentivar e ampliar meus interesses, em especial aos professores e amigos Flávio Augusto P. Santos, Wilson Roberto S. Mattos, Cláudio Haddad, Dante Pazzanese Lanna, Marcos Neves Pereira, Fábio Prudêncio de Campos, Milton Luiz M. Lima, Augusto Bianchi.

A todos os integrantes do Grupo de Qualidade e Conservação de Forragens meus sinceros agradecimentos pelo apoio e imprescindível ajuda durante todos estes anos. Agradeço aos amigos, Alonso, Adir, Bruna, Gisele Muraro "in memoriam", Janaína, João, Luciana, Maity, Rafael, Rodrigo Thiago, Sérgio, Vanessa e a Taninha.

Também, agradeço pelos inúmeros estagiários que durante esses últimos quatro anos dividiram comigo momentos de trabalho, alegria e aprendizado.

Aos funcionários do Departamento de Zootecnia, pela grande ajuda durante as atividades de campo, em especial aos Srs. Laureano, Juscelino e Emerson.

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo, em especial ao Departamento de Zootecnia por contribuir com a minha formação.

Ao laboratório de Bromatologia da USP/ESALQ, em especial a Ana Paula Oeda e Carlos César Alves pela grande ajuda atenção e carinho despendido no dia a dia.

Aos amigos e moradores da “República Viola Quebrada” o meu sincero agradecimento e eterno respeito por fazer parte de muitos bons momentos da minha vida, das quais jamais me esquecerei. A eles: Adenilson Paiva, Delci de Deus, Edward Garcia, Marcos Biehl, Roberto Gonçalves. Também, aos ex-moradores: Daniel de P. Souza, Laudi C. Leite, Marconi B. Teixeira, Rafael Soria, Gabriel Soria, Cezar Cruz Júnior e Leonardo Fontes. Meu muito obrigado pelo convívio e aprendizado.

A bela família Jacaúna: Salim, Angélica e Saimon meu sincero agradecimento.

Ao todos os integrantes do LNCA, meu cordial abraço, respeito e carinho: Tuka, Mariana, Amália, Tiago, Michele, Andréia, Pedro, Angelo e Marina.

Aos amigos do programa de pós-graduação: Amracir, Ricardo Goulart, Rafael Canonenco, Rafael Meneghini, Kerli Ninov, Guilherme Congio, Guachu, Marcos Carvallho, Felipe Tonato, Bruno Pedreira, Davi Cavalcanti, Diogo Pequeno, Jorge Portela, ao casal Leandro e Veridiana, Lili Gauchinha, Marina (Uruk), Diogo Galvani, Evando Ferreira, Renato Gentil, Michele, Clayton (Cirilo), Fumi, Diogo Fleury (K-bomba), Rafaela Carareto, ao casal Arlindo Pacheco e Bruna Matos a tantos outros que durante o meu treinamento de doutorado trabalharam e dividiram momentos de estudo e aprendizado.

Às dedicadas amigas Lurdes F. Gandra e Silvia Maria Zinsly, Eliana Maria Garcia agradeço.

A todos os amigos da 48ª turma de Medicina Veterinária da Universidade Federal de Uberlândia.

À FAPESP e ao CNPq pelo suporte financeiro durante todo o curso.

Agradeço a Nutripura Nutrição Animal pela colaboração no fornecimento dos ingredientes.

E por fim, agradeço a toda os meus familiares, Vó Lourdes “in memorian” e Vô Kibá, Vô Américo e Vó Constância; ao meus afilhados José Renê e Natália, Victor Hugo, tia Kátia e Zezinho; a bela família: José Carlos, Cecília (Maninha), Rúbia, Roberta e Andersom, aos amigos, Josias, família Campos, Luis Felipe N. dos Santos e a meu nobre irmão Fabiano (Bião) “in memorian”.

Meu muito obrigado!



## SUMÁRIO

RESUMO.....	15
ABSTRACT .....	17
LISTA DE ABREVIATURAS.....	19
1 INTRODUÇÃO .....	21
1.1 Conceitos e caracterização dos carboidratos.....	22
1.2 Fonte e dose de fibra em ração para confinamento .....	26
1.3 Co-produtos como fonte de fibra não forragem (FFNF) .....	29
1.3.1 Interação entre fontes de fibra de forragem e de fonte de fibra não forragem .....	30
1.4 Avaliação da efetividade da fibra em ingredientes .....	31
1.4.1 Métodos laboratoriais para estratificação da efetividade da fibra.....	33
1.4.2 Métodos biológicos para estimativa da efetividade da fibra .....	34
1.4.3 Caracterização dos métodos de determinação do fator de efetividade da fração fibra detergente neutro .....	36
1.5 Exigências de fibra para bovinos de corte.....	44
Referências .....	48
2 EFEITO FONTES DE FIBRA NO CONSUMO VOLUNTÁRIO, COMPORTAMENTO INGESTIVO E NAS CARACTERÍSTICAS DA DIGESTA RUMINAL DE BOVINOS DE CORTE.....	55
Resumo .....	55
Abstract .....	56
2.1 Introdução .....	57
2.2 Desenvolvimento.....	58
2.2.1 Local do experimento .....	58
2.2.2 Desenho experimental.....	58
2.2.3 Animais utilizados e rações experimentais.....	59
2.2.4 Colheita de dados e amostragens nos períodos de avaliação .....	62
2.2.4.1 Amostragens de fontes de fibra, concentrados, rações totais e sobras .....	63
2.2.4.2 Comportamento ingestivo.....	63
2.2.4.3 Análises bromatológicas.....	64

2.2.4.4 Tamanho médio de partículas .....	65
2.2.4.5 Consistência do “mat” ruminal .....	65
2.2.4.6 Cálculo de Repleção ruminal .....	66
2.2.4.7 Análise estatística .....	67
2.3 Resultados e Discussão .....	68
2.3.1 Período pré-experimental .....	68
2.3.2 Consumo .....	72
2.3.3 Comportamento ingestivo .....	79
2.3.4 pH ruminal .....	91
2.3.5 Tamanho médio de partículas dos ingredientes e rações.....	93
2.3.6 Conteúdo ruminal, consistência do “mat” ruminal e repleção ruminal.....	96
2.4 Conclusões .....	101
Referências.....	102
<b>3 AVALIAÇÃO DA EFETIVIDADE FÍSICA DE FONTE DE FIBRA EM RAÇÕES</b>	
<b>DESTINADAS A BOVINOS DE CORTE .....</b>	
<b>109</b>	
Resumo .....	109
Abstract.....	110
3.1 Introdução.....	111
3.2 Desenvolvimento .....	113
3.2.1 Local do experimento.....	113
3.2.2 Desenho experimental .....	113
3.2.3 Animais utilizados e rações experimentais .....	114
3.2.4 Cálculos para estimar o fator de efetividade física ou efetividade por diferentes métodos .....	117
3.2.5 Análise estatística .....	120
3.3 Resultados e Discussão .....	121
3.3.1 Quantificação da efetividade física e efetividade de diferentes fontes de .....	121
3.3.2 Análise de correlação e recomendações .....	132
3.4 Conclusões .....	141
Referências.....	143

4 CINÉTICA DIGESTIVA E ALGUNS ASPECTOS DO METABOLISMO RUMINAL EM BOVINOS DE CORTE ALIMENTADOS COM DIFERENTES FONTES DE FIBRA NA DIETA.....	149
Resumo .....	149
Abstract .....	150
4.1 Introdução .....	151
4.2 Desenvolvimento.....	152
4.2.1 Local do experimento .....	152
4.2.2 Desenho experimental.....	152
4.2.3 Animais utilizados e rações experimentais.....	153
4.2.4 Colheita de dados e amostragens nos períodos de avaliação .....	156
4.2.4.1 Amostragens de fontes de fibra, concentrados, rações totais e sobras .....	157
4.2.4.2 Parâmetros ruminais .....	157
4.2.4.3 Colheita total de fezes e digestibilidade aparente .....	157
4.2.4.4 Análises bromatológicas.....	158
4.2.4.5 Determinação da degradabilidade <i>in situ</i> .....	159
4.2.4.6 Taxa de passagem .....	162
4.2.4.7 Cálculo de repleção ruminal .....	165
4.2.4.8 Análise estatística .....	166
4.3 Resultados e Discussão.....	168
4.3.1 Consumo e Repleção ruminal .....	168
4.3.2 Parâmetros ruminais .....	172
4.3.3 Cinética de degradação <i>in situ</i> e cinética do trânsito digestivo .....	179
4.3.4 Digestibilidade dos nutrientes.....	188
4.4 Conclusões.....	194
Referências .....	195



## RESUMO

### Avaliação da fibra fisicamente efetiva em rações para bovinos de corte

Objetivou-se com este trabalho avaliar o efeito de fontes e teor de fibra no consumo voluntário, no comportamento ingestivo, na efetividade de fontes de fibra, na cinética digestiva e alguns aspectos do metabolismo ruminal de bovinos de corte. Foram utilizados seis bovinos machos castrados da raça Nelore contendo cânula no saco dorsal do rúmen, alojados em gaiolas metabólicas, em delineamento do tipo quadrado latino 6x6, contendo 19 dias de período experimental cada. Seis rações foram formuladas com diferentes teores e fontes de fibra: CN (controle negativo – com 10% da fração FDN de silagem de milho); CP (controle positivo – com 20% da fração FDN de silagem de milho); e quatro rações contendo 10% da fração FDN de silagem de milho e 10% da fração FDN de cada uma das seguintes fontes: bagaço *in natura* de cana-de-açúcar (BAG), cana-de-açúcar (CAN), casca de soja (CSOJ) e torta de algodão desengordurada (TALG). Comparado ao tratamento CP, observou-se CMS semelhante ( $P>0,05$ ) entre os tratamentos CAN, CSOJ e TALG (9,20, 8,60, 8,83 e 9,52  $\text{kg}\cdot\text{dia}^{-1}$ , respectivamente). Contudo, tratamento BAG promoveu depressão no CMS (6,97  $\text{kg}\cdot\text{dia}^{-1}$ ). Ração contendo menor teor de fibra (CN) apresentou resultado intermediário quanto ao CMS. Para estimar o fator de efetividade física (fef) ou fator de efetividade (fe) foram utilizados os métodos de bioensaio preconizado por Armentano e Pereira (1997). Além disso, foram utilizados métodos laboratoriais recomendados por Mertens (1997) e Lammers; Buckmaster; Heinrichs (1996) para estimar o fef de fontes de fibra ( $\text{fef}_{1,18}$  ou  $\text{fef}_{>8,0 \text{ mm}}$ , respectivamente). Ao calcular o fef das fontes de fibra utilizando métodos laboratoriais, foi possível evidenciar grande divergência entre estes e os valores calculados pelos métodos de bioensaio. Medidas de efetividade física calculadas por meio de métodos laboratoriais ( $\text{fef}_{1,18}$  ou  $\text{fef}_{>8,0 \text{ mm}}$ ) apresentaram baixa ou nenhuma correlação ( $P>0,05$ ) com tempo de ruminação, tempo de mastigação, pH ruminal e “mat” ruminal. Por outro lado, ao avaliar os  $\text{fef}$  calculados conforme Armentano e Pereira (1997), coeficientes de correlação adequados foram observados ( $P<0,05$ ) quando relacionados com tempo de ruminação, tempo de mastigação e “mat” ruminal. Equações de regressão envolvendo cálculos de efetividade física utilizando métodos laboratoriais e bioensaio foram sugeridas para que se pudesse oferecer aplicabilidade em condições de campo. Os valores médios de pH ruminal foram influenciados pelo nível e fonte de fibra. A concentração total de ácidos graxos de cadeia curta (AGCC) foi significativamente alterada ( $P<0,05$ ) em função dos diferentes tratamentos. Rações contendo fontes e teores de fibra não alteraram o tempo médio de digestão da MS e da fração FDN ( $P>0,05$ ), como também, não provocaram alteração ( $P>0,05$ ) nas frações A e U referente à MS avaliadas pelo ensaio de degradabilidade *in situ*. Teor e fontes de fibra alteraram ( $P<0,05$ ) a taxa de passagem do pool de partículas escapáveis no rúmen retículo ( $k_e$ ), o  $\text{TMRR}_p$  e o  $\text{TMRT}_p$ . Não houve diferença ( $P>0,05$ ) na taxa assintótica de líquidos ( $\lambda_L$ ,  $\text{h}^{-1}$ ), no tempo de trânsito da fase líquida ( $\text{TT}_L$ , h), como também, no  $\text{TMRR}_L$  e  $\text{TMRT}_L$  entre os tratamentos avaliados (média de 0,11  $\text{h}^{-1}$ , 8,73, 20,6 e 29,6 horas respectivamente).

Palavras-chaves: Consumo voluntário; Comportamento ingestivo; Fator de efetividade física; Fibra; Cinética ruminal; Nelore

## ABSTRACT

### Evaluation of physically effective fiber in diets for beef cattle

This study aimed to evaluate the effect of different sources of fiber on voluntary intake, ingestive behavior, on effectiveness fiber sources, on digestive kinetics and some aspects of the rumen metabolism in beef cattle. Six ruminally cannulated Nelore steers, housed in tie-stall barns, were used in a 6 x 6 Latin square design with 19 days of experimental periods each. Each experimental period consisted of 10 days of adaptation to the experimental diet and 9 days of data collection. Six diets were formulated with different contents and sources of fiber: NC (negative control - with 10% of the NDF fraction from corn silage), PC (positive control - with 20% of the NDF fraction from corn silage) and four diets containing 10% of NDF fraction from corn silage and 10% of the NDF fraction from each the following sources: sugarcane (SC), sugarcane bagasse (SCB), soybean hulls (SH) and high oil – cottonseed meal (HOCM). In comparison to the PC treatment, it was observed similar dry matter intake (DMI) ( $P > 0.05$ ) between the treatments SC, SH e HOCM (9.20, 8.60, 8.83 and 9.52  $\text{kg}\cdot\text{day}^{-1}$ , respectively). However the SCB treatment decreased DMI (6.97  $\text{kg}\cdot\text{day}^{-1}$ ). The diet containing lower fiber level (NC) presented an intermediate result in relation to DMI. To estimate physical effectiveness factor (pef) or effectiveness factor (fe), bioassay methods recommended by Armentano and Pereira (1997) were used. Also, laboratory methods recommended by Mertens (1997) and Lammers; Buckmaster, Heinrichs (1996) to estimate the effectiveness factor of physical fiber sources ( $\text{fef}_{1.18}$  or  $\text{fef}_{>8.0\text{mm}}$ , respectively) were used. There was a large discrepancy between physical effectiveness factor of fiber sources when calculated by laboratory or bioassay methods. Measurements of physical effectiveness calculated by laboratory methods ( $\text{fef}_{1.18}$  or  $\text{fef}_{>8.0\text{mm}}$ ) showed low or no correlation ( $P > 0.05$ ) with rumination time, chewing time, rumen pH and ruminal mat. On the other hand, when pef was calculated according to Armentano and Pereira (1997), appropriate correlation coefficients were observed ( $P < 0.05$ ) between pef and rumination time, chewing time and ruminal mat. Regression equations involving calculations of physical effectiveness using laboratorial methods and bioassays have been proposed to provide applicability in field conditions. The mean ruminal pH levels were influenced by the content and source of fiber. The concentration of total short-chain fat acids (SCFA) were significantly altered ( $P < 0.05$ ) according to the different treatments. Diets containing different sources and contents of fiber did not change the average time of digestion from the DM and NDF fraction ( $P > 0.05$ ), also they did not cause changes ( $P > 0.05$ ) in the A and U fractions of the DM evaluated by the in situ degradability study. Content and fiber sources changed ( $P < 0.05$ ) the  $k_e$ , the  $\text{TMRR}_p$  and the  $\text{TMRT}_p$ . No difference was observed ( $P > 0.05$ ) on asymptotic rate of fluid ( $\lambda_L$ ,  $\text{h}^{-1}$ ), along the transit time of the fluid phase ( $\text{TT}_L$ , h) and  $\text{TMRR}_L$  and  $\text{TMRT}_L$  between different treatments (average of 0.11  $\text{h}^{-1}$ , 8.73, 20.6 and 29.6 hours, respectively).

Keywords: Voluntary intake; Ingestive behavior; Physical effectiveness factor; Fibras;  
Ruminal kinetics; Nellore

## LISTA DE ABREVIATURAS

A - Fração potencialmente digestível da matéria seca disponível para ser digerida pelos microrganismos ruminais

An - fração potencialmente digestível da fração fibra detergente neutro disponível para ser digerido pelos microrganismos ruminais (A normalizado)

AGCC – Ácidos Graxos de Cadeia Curta

CF – Carboidrato Fibroso

CNF – Carboidrato não Fibroso

DE FDN - Degradabilidade efetiva da fração fibra detergente neutro

DE MS - Degradabilidade efetiva da fração fibra detergente neutro

FDA – Fibra Insolúvel em Detergente Ácido

FDN – Fibra Insolúvel em Detergente Neutro

FDNe - Fibra Detergente Neutro Efetivo

FDNfe – Fibra Detergente Neutro Fisicamente Efetivo

FDNF - Fibra Detergente Neutro de Forragem

FDNNF – Fibra Detergente Neutro Não Forragem

*fe* – Fator de Efetividade

*fef* – Fator de Efetividade Física

FFF – Fonte de Fibra Forragem

FFNF – Fonte de Fibra Não Forragem

$\bar{k}_L$  - Taxa de passagem média de fluidos;

$k_d$  - Taxa de degradação da fração A

$k_e$  - Taxa de passagem no rúmen retículo com probabilidade de escape de partículas exponencialmente distribuída

$\lambda_a$  - Taxa assintótica de preparação do substrato

$\lambda_L$  - Taxa assintótica de escape de líquidos do rúmen-retículo

$\lambda_p$  - Taxa assintótica de escape das partículas do *raft* para o total de partículas escapáveis

PC – Parede Celular

RT – Ração total

TGI – Trato Gastrintestinal

TMP – Tamanho médio de partículas

TMRR<sub>p</sub> - Tempo médio de retenção no rúmen retículo de partículas

TMRT<sub>p</sub> - Tempo médio de retenção total de partículas

TT - tempo de trânsito

TMRR<sub>L</sub> - Tempo médio de retenção ruminal da fase líquida

TMRT<sub>L</sub> - tempo médio de retenção total da fase líquida

TT<sub>L</sub> - Tempo de trânsito

U – Fração indigestível da matéria seca

Un - Fração indigestível da fração fibra detergente neutro (U normalizado)

S - fração solúvel (100-A-U)

## 1 INTRODUÇÃO

Fornecer ingredientes aos animais é uma das atividades de maior importância econômica em qualquer sistema de produção, visto que a oferta de nutrientes contribui com a maior parcela dos custos, além de ter grande impacto no desempenho do animal (INGVARTSEN, 1994). Estudos envolvendo avaliações quanto às características físicas e químicas da fibra, bem como, as relações entre ingestão voluntária e cinética de passagem são fundamentais na formulação de rações, a fim de atender as exigências nutricionais, prever o desempenho de animais e estimar a lucratividade da exploração (NRC, 1996).

Atualmente, há tendência crescente em se utilizar maiores quantidades de ingredientes concentrados em rações de bovinos de corte e este comportamento pode ser justificado por várias razões. Inicialmente, o custo por megacaloria de energia normalmente é em geral menor para grãos de cereais, além de fornecer maior energia líquida de ganho (ELg), em comparação aos volumosos. Em adição, taxas de ganho de peso são alcançadas mais facilmente com rações ricas em grãos, reduzindo o período de tempo em que os animais são alimentados e conseqüentemente, reduzindo os custos no capital investido no animal. Além disso, rações contendo altas inclusões de grãos favorecem maiores deposições de gordura de forma mais rápida em carcaças mais leves o que é bastante desejável na indústria de carne (OWENS, 2008a).

Por outro lado, o fornecimento de rações com teores insuficientes de fibra pode resultar acúmulo de ácidos graxos de cadeia curta (AGCC) no rúmen retículo e desencadear um quadro de acidose (BARKER et al., 1995). Este distúrbio metabólico tem efeitos negativos sobre o desempenho e a saúde dos animais, com efeitos deletérios sobre a ingestão voluntária de ingredientes, inibindo degradação da fibra e na síntese microbiana (GRANT; MERTENS, 1992), a motilidade do rúmen retículo (CRICHLow; CHAPLIN, 1985) e a morfologia da parede ruminal (GAEBEL et al., 1989; JENSEN et al., 1958). Outros problemas como timpanismo (LEEK; HARKING, 1975; CRICHLow; CHAPLIN, 1985), ruminite (JENSEN et al., 1954), abscessos hepáticos (SMITH, 1944), distúrbios de locomoção (SINGH et al., 1992) e, até mesmo, a morte do animal (BARKER et al., 1995) também têm sido associados a acidose ruminal.

Como alternativa, a utilização do conceito de efetividade física como parâmetro de inclusões mínimas de fibra na ração poderia auxiliar nutricionistas a fim de evitar queda no desempenho animal, minimizar problemas metabólicos e, conseqüentemente, aumentar a lucratividade (OWENS, 2008b).

Sabe-se que fontes de fibra oriundas de forragem (FFF) ou de fontes de fibra não forragem (FFNF) (co-produtos) diferem consideravelmente quanto a sua efetividade física (CLARK; ARMENTANO, 1997). Este efeito é conseqüência direta das diferenças entre tamanhos de partícula, gravidade específica, tempo de mastigação total (ingestão e ruminação), tempo de retenção ruminal e, conseqüentemente, cinética ruminal (GRANT, 1997).

Atualmente, cada vez mais se tem utilizado FFNF (co-produtos) em substituição a FFF em rações de bovinos de corte em terminação (ZINN; WARE, 2007). No Brasil, estatísticas revelam que 79,7% dos confinamentos utilizam FFNF, com níveis de inclusão variando entre 5% a 50% na MS da ração total (MILLEN et al., 2009). De forma similar, de acordo com dados levantados por Vasconcelos e Galyean (2007), a média de produtores americanos que utilizam co-produtos em rações para bovinos de corte em terminação é de 82,76%. Neste cenário, a quantificação da efetividade física de volumosos e de co-produtos em rações contendo elevado teor de grãos poderá trazer benefícios para a comunidade científica e para predições de desempenho de animais pelo setor produtivo.

## **1.1 Conceitos e caracterização dos carboidratos**

O aproveitamento adequado de rações destinadas a bovinos é influenciado pela composição química e pelas características físicas de cada ingrediente utilizado. Os carboidratos compõem a maior fonte de energia para ruminantes e compreendem de 60 a 70% da ração destes animais (NRC, 2001). Sua grande importância está relacionada ao fornecimento de energia para os microrganismos ruminais e para o animal, além de manter a saúde e a funcionalidade do rúmen (ALLEN, 1997; ARMENTANO; PEREIRA, 1997).

As características dos carboidratos como composição química e física afetam o consumo voluntário de matéria seca (CMS) pelo animal, a cinética da digestão e, conseqüentemente, a utilização dos nutrientes da ração (JUNG; ALLEN, 1995; ALLEN; VOELKER, 2007). Entretanto, deve-se ressaltar que ainda não há consenso definitivo quanto a nomenclatura, a separação de frações e aos procedimentos metodológicos empregados nas análises de carboidratos, embora esses aspectos representem passo importante para definições de exigências destes nutrientes para os animais (NRC, 2001).

Mertens (1996) sugere que a classificação dos carboidratos estabelecida como estruturais (CE) e não-estruturais (CNE), refere-se unicamente a função desempenhada nas plantas e não deve ser confundida com o papel dos carboidratos na nutrição animal. Conceitualmente, CE estão relacionados com a parede celular (PC) dos vegetais (sendo a PC composta por celulose, hemicelulose, lignina, pectina, compostos fenólicos e proteínas) fornecendo o suporte físico, necessário para o crescimento da planta. Já os CNE, estão localizados no conteúdo celular e são encontrados em maiores concentrações nas sementes, folhas e raízes e representam reservas energéticas utilizadas para crescimento, reprodução e sobrevivência durante períodos de estresse.

Embora inúmeras vezes usados como sinônimos, os termos PC e fibra não representam frações idênticas dos carboidratos, tanto em definição quanto em composição. Em relação à composição de ingredientes, fibra é um termo utilizado para estabelecer o conceito exclusivamente nutricional, ou seja, a fibra é definida como sendo a fração indigestível ou de digestão lenta do ingrediente e que ocupa espaço no trato gastrintestinal (TGI) (VAN SOEST, 1994). Assim, a PC não pode ser considerada como uma medida acurada de fibra, pois pode conter pectina, uma fonte de carboidrato de alta digestibilidade que exerce efeito limitado como fonte de fibra (MERTENS, 1996).

Nesse cenário, Mertens (1992) mencionou que, em termos nutricionais, a classificação dos carboidratos em fibrosos (CF) e não fibrosos (CNF) parece mais apropriada porque é dependente de características nutricionais do animal e não necessariamente de funções exercidas na planta. Nesta classificação, os CNF representam as frações degradadas mais rapidamente e incluem amido, açúcares e

pectina. Já os CF, principalmente a celulose e a hemicelulose, ocupam espaço no TGI e exigem mastigação, cominuição e degradação microbiana para redução do tamanho de partículas, fermentação, liberação de nutrientes e passagem pelo TGI (JUNG; ALLEN, 1995).

O método denominado de fibra bruta (FB) descrito por Weende tem sido há muito tempo usado para tentar caracterizar a fração de fibra de ingredientes destinados a ruminantes e monogástricos. Supostamente, o método deveria avaliar uma entidade quimicamente uniforme (glucana) que poderia representar outros grupos de carboidratos indisponíveis. Contudo, este método historicamente vem recebendo críticas por ignorar a lignina e a hemicelulose, solubilizadas parcialmente pelo tratamento da amostra com soluções alcalina e ácida, e não satisfazer a exigência de recuperação de componentes indigestíveis da fibra dietética.

O sistema de FB foi gradativamente substituído nas pesquisas envolvendo nutrição de ruminantes, após o advento dos sistemas para determinação de fibra insolúvel em detergente neutro (FDN) e fibra insolúvel em detergente ácido (FDA), frações estas mais representativas dos componentes da PC de um ingrediente, disponíveis para fermentação ruminal (NUSSIO; CAMPOS; LIMA, 2006).

A fração FDN compreende hemicelulose, celulose e lignina; enquanto que a fração FDA é composta por celulose e lignina apenas, excluindo-se a hemicelulose no processo analítico. Portanto, os valores de hemicelulose publicados na literatura são usualmente determinados por diferença entre ambos os valores, onde:

$$\text{Hemicelulose} = \text{FDN} - \text{FDA}$$

A avaliação da composição das frações de carboidratos fibrosos é importante para o entendimento do potencial de utilização de diversos ingredientes, principalmente forragens. Embora sob controvérsias, hemicelulose é degradada no rúmen ligeiramente mais rápida que a celulose; já a lignina é indigestível (VAN SOEST, 1994). O balanço entre esses diferentes componentes determina se a fibra de um ingrediente será mais ou menos degradada no ambiente ruminal (GRANT; MERTENS, 1992).

Van Soest (1994) mencionou que a fração FDN é negativamente relacionada com a densidade do ingrediente, representando a fração de digestão lenta e, portanto, é

bem correlacionada com o enchimento ruminal e o consumo de matéria seca (MS). Já a digestibilidade do ingrediente está mais relacionada com a fração FDA, pois a fração da fibra indigestível, a lignina, representa maior proporção da entidade FDA.

A partir do método de detergente neutro, inicialmente proposto por Van Soest e Wine (1967) para determinação de componentes da fração fibrosa, o sistema passou por algumas modificações, sendo esta a principal causa de variação nos resultados de análise entre laboratórios (MERTENS, 1998).

Alterações no método original foram adotadas visando reduzir a contaminação da fração FDN por amido (principalmente em silagem de milho e ingredientes concentrados) e melhorar as condições de filtragem e lavagem do resíduo de fibra (MERTENS, 1996). A modificação mais recente do método original inclui o uso de sulfito de sódio (para reduzir a contaminação com proteína insolúvel) e da inclusão de amilase termo-estável (para remover amido), sendo o resíduo de fibra obtido denominado de fração FDN tratada com amilase (aFDN) (UNDERSANDER et al. 1993). Geralmente os valores de aFDN são diferentes e menores que os obtidos por outros métodos de determinação da fração FDN (Tabela 1), com implicações sobre estimativas do valor energético dos ingredientes e na formulação de rações (MERTENS, 1998).

Vale ressaltar também que o teor da fração FDN no ingrediente ou na ração é negativamente correlacionado com a concentração energética, e a composição química dessa fração (proporções de celulose, hemicelulose e lignina) afeta a digestibilidade do ingrediente ou da ração total. Portanto, ingredientes ou rações com concentrações similares da fração FDN não necessariamente terão concentrações de energia líquida semelhantes, do mesmo modo que certos ingredientes ou rações com teores elevados da fração FDN poderão apresentar concentrações de energia maiores que outros contendo menores teores dessa fração (NRC, 2001).

Tabela 1 – Teores da fração fibra detergente neutro (% MS) de ingredientes submetidos à diferentes procedimentos relacionados com alterações do sistema de detergente neutro

Ingredientes	FDN <sup>a</sup>	NDR <sup>b</sup>	aFDN <sup>c</sup>	aFDN/FDN
	(-----% da MS-----)			(%)
Palha de trigo <sup>d</sup>	83,9	86,0	82,8	98,7
Capim Timoteo <sup>d</sup>	67,2	68,0	65,1	96,9
Gramma dos pomares	66,6		64,2	96,4
Feno de alfafa <sup>d</sup>	47,2	50,6	45,6	96,6
Feno de alfafa	45,5		44,3	97,4
Silagem de alfafa	43,6		42,2	96,8
Silagem de milho <sup>d</sup>	55,9	55,0	52,6	94,1
Trevo	31,9		30,3	95,0
Resíduo de cervejaria	52,3		40,9	78,2
Resíduo de destilaria	38,6		27,9	72,3
Farelo de soja	18,5		12,4	67,0
Milho grão	11,4		10,1	88,6
Polpa cítrica	21,3		20,2	94,6

<sup>a</sup> Fibra Detergente Neutro – Método original com sulfito, sem amilase (VAN SOEST; WINE, 1967)

<sup>b</sup> Resíduo Detergente Neutro – Sem sulfito, com amilase (ROBERTSON e VAN SOEST, 1981)

<sup>c</sup> Fibra Detergente Neutra tratada com amilase – Com sulfito e amilase (UNDERSANDER et al. 1993)

<sup>d</sup> ROBERTSON (1984)

Fonte: MERTENS (1998)

## 1.2 Fonte e dose de fibra em ração para confinamento

Tradicionalmente, a dose de inclusão de forragens em rações formuladas em confinamentos americanos apresentam em média 8,5 a 9,0% na MS da ração total (verão e inverno respectivamente), com intervalos variando entre 0 a 13,5% (OWENS, 2008b).

Em um questionário aplicado por Vasconcelos e Galyean (2007) envolvendo quarenta e dois nutricionistas na área de confinamento em diversos estados americanos, verificaram que silagem de milho e alfafa (na forma de feno ou ensilada) compreenderam 72,41% da escolha dos nutricionistas como fonte de volumosos mais utilizados, sendo o caroço de algodão a terceira opção com apenas 6,9% da preferência. Nesse cenário, é possível observar a grande preferência (ou talvez pequena possibilidade de utilizar outras fontes de forragem) em confinamentos americanos. Além disso, a baixa dose de inclusão de volumosos nessas rações é justificado por Zinn e Ware (2007) em razão de que forragens não são competitivas economicamente quando comparada com grãos, sendo por esse motivo considerados como ingredientes “funcionais” apenas.

Por outro lado, ao analisar rações formuladas em confinamentos brasileiros, a dose média de inclusão de forragens é de 28,8% na MS da ração total (mínimo de 12% e máximo de 45%) (MILLEN, et al., 2009), ou seja, quantidade 3 vezes maior quando comparado com rações típicas de confinamentos americanos. Ainda, dados de Millen et al. (2009) reportam dose média de 26,4% (mínimo de 15% e máximo de 39%) de inclusão da fração FDN oriunda de forragem (% na MS da ração total) em rações formuladas em confinamentos brasileiros, contrastando com formulações típicas americanas variando entre 6 a 9% da fração FDN oriunda de forragem (% na MS da ração total) (ZINN; WARE, 2007). Ainda, contrariando os resultados encontrados por Vasconcelos e Galyean (2007) quanto a opções de fontes de volumosos em confinamentos americanos (alfafa ou silagem de milho predominantemente), no Brasil, foi possível observar grande diversidade de fontes de forragem utilizadas em confinamentos como: cana-de-açúcar (ensilada ou *in natura*), silagem de milho, silagem de sorgo, bagaço de cana-de-açúcar, silagem de capim, bem como várias FFNF (MILLEN et al., 2009).

Nesse contexto, diante da grande diversidade de fontes de forragens, no Brasil, é muito comum observar rações com fontes de volumosos e níveis idênticos da fração FDN produzindo, por consequência, diferentes respostas distintas quanto ao CMS, o comportamento ingestivo, a cinética ruminal e em última análise o desempenho animal (ZINN; WARE, 2007; BULLE et al., 2002; GALYEAN; DEFFOR, 2003; SHAIN et al.,

1999). Tal comportamento se dá principalmente por haver diferenças quanto ao tamanho de partículas e a composição química (celulose, hemicelulose, lignina) entre fontes de forragem (OWENS, 2008b) conforme apresentado na Figura 1.

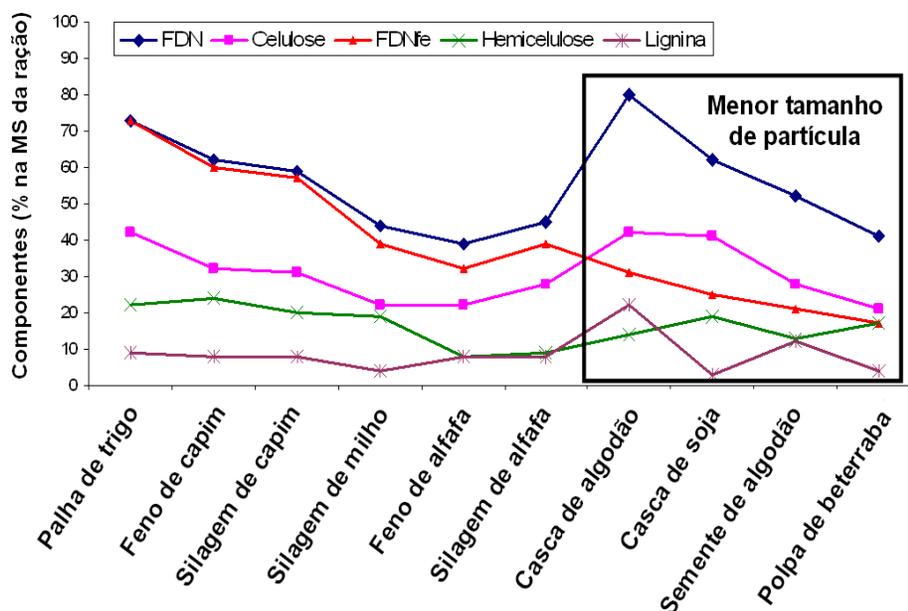


Figura 1 – Teores da fração fibra insolúvel em detergente neutro, seus componentes químicos e valores estimados de fibra detergente neutro fisicamente efetiva em diferentes Ingredientes. Adaptado de Owens (2008b)

Diante da grande variação dos componentes químicos e físicos em volumosos, bem como da enorme diversidade de fontes de forragens existentes, a utilização do conceito de efetividade física deve ser cada vez mais incentivada em programas de formulação de rações para bovinos. Entretanto, conhecendo a escassez de informações quanto aos valores de efetividade física, torna-se necessário mais esforços da comunidade científica no refinamento dessa informação.

### 1.3 Co-produtos como fonte de fibra não forragem (FFNF)

Tradicionalmente, a maior fonte de energia dietética em confinamentos de bovinos de corte tem como origem grãos de milho (OWENS, et al., 2009). Entretanto, fontes tradicionais de energia para bovinos estão sendo direcionadas cada vez mais para o fornecimento de substratos para outros fins, como por exemplo, a produção de etanol, obrigando nutricionistas a se adaptar a novos tipos de ingredientes (HERSOM et al., 2009).

Atualmente, a utilização de FFNF tem sido utilizada como alternativa alimentar em vários sistemas de bovinos de corte e leite tendo como principais vantagens: fonte valiosa de proteínas, energia e fibra, preços competitivos, disponibilidade e principalmente maior flexibilidade à ração, pois dispensam processamentos na propriedade, podendo na maioria das vezes, ser fornecidas diretamente aos animais (FIRKINS, 1997). Além disso, a utilização desses ingredientes por bovinos confere destino útil a resíduos potencialmente poluentes, que, de outra forma, seriam grande problema ambiental. Assim, a utilização de FFNF em sistemas de produção animal favorece tanto o setor pecuário, como também, possibilita novos estudos no campo científico.

Conceitualmente, FFNF são subprodutos de plantas produzidas pela extração do amido, açúcares, ou outros constituintes não fibrosos de valor (PEREIRA et al., 1999). Estes subprodutos, recentemente chamados de co-produtos, podem apresentar teor da fração FDN similar a forragens grosseiras, característica que possibilita a estes ingredientes serem adicionados à ração com o intuito de substituir parte da fração FDNF (GRANT, 1997). Entretanto, por se tratar de ingredientes que possuem tamanho de partícula semelhante à ingredientes concentrados, recomenda-se que sua substituição por parte da fração FDNF na ração seja cuidadosa, principalmente por haver interações entre essas fontes quanto ao o comportamento ingestivo, a digestão da fibra no TGI, a taxa de passagem, a energia metabolizável da ração e, em última análise o desempenho dos animais (FIRKINS, 1997; GRANT, 1997; NRC, 1996; PEREIRA et al., 1999; HERSOM et al., 2009).

A maioria das fontes de FDNNF são significativamente menos efetivas em estimular a atividade de mastigação quando comparadas com forragens (NRC, 1996). Allen (1997), utilizando relações empíricas, demonstrou que a efetividade da fração FDN de FFNF foi apenas 35% em manter o pH ruminal quando comparada com forragens. Já Firkins (1997), concluiu que a fração FDNNF apresentou valor de efetividade de 60% em manter a digestibilidade da fração FDN no TGI em comparação a fração FDNF. Por outro lado, ao avaliar a atividade de mastigação de bovinos, Mertens (1997) concluiu que co-produtos geraram valores de aproximadamente 40% e, para outros concentrados, estes estiveram entre 30% e 80% quando comparados com a efetividade típica da fração FDN de forragens. Assim, diante da grande diversidade de valores de efetividade de co-produtos encontrados na literatura, é fundamental prover recursos e estimular a caracterização de fontes de fibra não forragem.

### **1.3.1 Interação entre fontes de fibra de forragem e de fonte de fibra não forragem**

Sistemas de formulação de rações como o NRC (1996) e NRC (2001), recomendam que quando parte da forragem é substituída por co-produtos em rações de bovinos, o tamanho de partícula da forragem deve ser aumentado (com excessão do caroço de algodão), visto que FFNF não estimulam a mastigação de forma tão eficiente quando comparadas com fontes de fibra tradicionais.

Rações contendo diferentes proporções de volumosos e FFNF podem apresentar valores distintos quanto ao tempo de mastigação, pH ruminal, tempo de retenção ruminal e taxas de digestão e passagem.

Trabalho clássico de Hintz et al. (1964) compararam rações contendo casca de soja, com ou sem a adição de feno, na ração total. Estes autores observaram que quando a casca de soja foi fornecida exclusivamente, a digestibilidade da fibra bruta foi apenas 66,3%. Por outro lado, quando a casca de soja foi fornecida com feno na proporção de 1:1 na ração total, a digestibilidade da fibra bruta aumentou para 80,5%.

Nakamura e Owen (1989) verificaram elevação de 8 unidades percentuais na taxa de passagem da casca de soja quando a inclusão desta FFNF foi aumentada na ração, de 50% para 95,3%, na ração total. Relataram ainda que a elevação na taxa de

passagem pode ter sido a principal responsável pela diminuição da digestibilidade das frações FDN e FDA, em rações com inclusão elevada de casca de soja.

Poucos estudos avaliaram o impacto do tamanho da partícula da forragem na utilização da FFNF. Loggins et al. (1964) avaliaram rações com 0 ou 10% de feno picado grosseiramente (6 a 8 cm) ou picado finamente (< 1 cm) com inclusões de 67 e 74,5% de polpa cítrica. A substituição de feno picado finamente (< 1 cm) por feno picado grosseiramente (6 a 8 cm) aumentou o ganho de peso em 11% a eficiência alimentar em 19% e aumentou o pH ruminal, além de diminuir a concentração de AGCC. Também estes autores mencionaram que a inclusão de feno picado grosso reduziu a incidência e a severidade de hiperqueratose.

Mooney e Allen (1997) avaliaram rações contendo tamanhos de picagem da silagem de alfafa, com ou sem a inclusão de caroço de algodão e encontraram diferenças no coeficiente de efetividade física da fração FDN deste co-produto. Neste trabalho, o fator de efetividade física do caroço de algodão foi 1,27 quando a silagem de alfafa com menor tamanho de partículas foi considerada o ingrediente padrão. Em contrapartida, quando a silagem de alfafa com maior tamanho de partícula foi considerada o ingrediente padrão, o fator de efetividade física do caroço de algodão foi 0,50.

Outro aspecto importante que envolve a utilização de co-produtos é a variação na natureza química e física de diferentes lotes de um mesmo ingrediente, refletindo em considerável variação na digestibilidade da fração FDN desses ingrediente (FIRKINS, 1997). Assim, mais estudos são necessários para quantificar como características físicas e químicas de FFNF interagem com outros ingredientes, principalmente forragens.

#### **1.4 Avaliação da efetividade da fibra em ingredientes**

O conceito de efetividade da fibra (FDNe) nos estudos sobre nutrição de ruminantes, principalmente vacas em leiteiras, foi introduzido no início dos anos 90 (SWAIN; ARMENTANO, 1994), tendo como grande vantagem permitir a comparação de diferentes fontes da fração FDN, numa mesma escala relativa. Este conceito (FDNe) foi

definido a partir da capacidade total da fração FDN de determinado ingrediente ou ração, em manter efetivamente a mastigação, o teor de gordura do leite e a saúde do animal (MERTENS, 1997).

Dentro deste contexto, tornou-se possível comparar co-produtos fibrosos e forragens, forragens com diferentes graus de processamento e, principalmente, determinar a economicidade de cada ração completa, em relação ao teor e a origem da fração FDN. Já a fração FDN fisicamente efetiva (FDNfe), por relacionar-se apenas as propriedades físicas da fibra, apresenta conceito mais restrito do que o FDNe (NRC, 2001).

O fator de efetividade da fração FDN é medido empiricamente utilizando variáveis que respondem ao perfil de carboidratos de determinado ingrediente ou ração, tais como mastigação, camada de fibra longa do rúmen (“mat ruminal”), motilidade ruminal, teor de gordura no leite, pH ruminal e perfil de ácidos graxos de cadeia curta no rúmen (ARMENTANO; PEREIRA, 1997; MERTENS, 1997). Já a FDNfe está relacionada às características físicas da fibra (principalmente o tamanho de partícula) que influencia a atividade de mastigação, a camada de fibra longa no rúmen e a motilidade ruminal (MERTENS, 1997). O conteúdo de FDNfe de um ingrediente é calculado pelo teor da fração FDN analisado quimicamente e multiplicado pelo *fator de efetividade física (fef)* dessa fonte de fibra:

$$\text{FDNfe} = \text{FDN} * \text{fef}$$

Para que se possa utilizar de maneira adequada o conceito de fibra efetiva no campo, é importante compreender como os valores são calculados para cada ingrediente. O fator de efetividade de determinado ingrediente pode também ser obtido por meio de ensaios biológicos com animais, ou seja, experimentos de curta duração contendo rações com diferentes doses de inclusão de forragem (ARMENTANO e PEREIRA, 1997; MOONEY e ALLEN, 1997), ou utilizando métodos laboratoriais como os sugeridos por Mertens (1997) e Lammers (1996).

#### 1.4.1 Métodos laboratoriais para estratificação da efetividade da fibra

Mertens (1997) mencionou a importância de se desenvolver um novo sistema de exigência de fibra para vacas leiteiras, sugerindo que fossem envolvidas as características de cada ingrediente e também a realização de determinações quantitativas utilizando métodos laboratoriais de rotina. Esse método poderia estimar o valor de FDN<sub>fe</sub> por meio de medidas físicas e químicas no laboratório, como concentração da fração FDN de determinado ingrediente e a proporção de partículas que são retidas em uma peneira de 1,18 mm de porosidade. Dessa forma, assumiu-se que o *fef* seria calculado da seguinte forma:

$$fef = \% \text{ da fração FDN do ingrediente} \times \% \text{ do ingrediente retido em uma peneira de } 1,18 \text{ mm}$$

Nesse método as partículas seriam estratificadas por tamanho, e o seu desenvolvimento teria como base as recomendações de Poppi et al. (1980) em que menos de 5% das partículas de fezes de ovinos e bovinos tem oportunidade de passar por uma peneira com orifício de 1,18 mm.

O método laboratorial proposto por Mertens (1997) para estimar FDN<sub>fe</sub> foi estabelecido com base em três suposições: 1 – que o teor da fração FDN é uniformemente distribuído em todas as partículas do ingrediente; 2 – que a atividade de mastigação é igual para todas as partículas retidas em uma peneira de 1,18 mm de porosidade; 3 – a facilidade em reduzir o tamanho de partícula do ingrediente não é diferente entre fontes da fração FDN.

Em relação às suposições mencionadas por Mertens (1997) citadas acima, algumas questões devem ser analisadas. Predizer a relação entre tamanho de partícula e atividade de mastigação não é uma tarefa fácil, devido a grande complexidade entre esses fatores. A atividade de mastigação por quilograma de MS não é um atributo unicamente do ingrediente, mas sim um efeito conjunto entre o ingrediente e o animal, sofrendo variação em decorrência de raça, tamanho do consumo voluntário de MS pelo animal (BAE et al., 1983; WELCH e SMITH, 1970). Também, supor que a redução no

tamanho de partícula não difere entre fontes da fração FDN pode ser bastante questionável, principalmente quando há maior inclusão de FFNF em substituição a FFF (GRANT, 1997; ARMENTANO; PEREIRA, 1997).

Também, na década de noventa, outro método laboratorial desenvolvido para determinar a efetividade física da fibra foi proposto por Lammers et al. (1996). Este método utiliza a proporção da MS retida em peneiras de 19 mm e 8 mm de porosidade utilizando conjunto de peneiras (*Penn State Particle Separator*) e multiplica essa proporção pela porcentagem da fração FDN do ingrediente retido nessas peneiras.

#### **1.4.2 Métodos biológicos para estimativa da efetividade da fibra**

Avaliações biológicas envolvendo a quantificação da FDNfe e da FDNe são relativamente distintas, visto que a efetividade física (FDNfe) é definida restritamente em termos de atividade de mastigação, enquanto que a efetividade (FDNe) representa toda a propriedade do ingrediente que ajuda a manter a percentagem de gordura no leite, pH ruminal e padrão de AGCC no rúmen (ARMENTANO; PEREIRA, 1997; MERTENS, 1997). Algumas pesquisas (BALCH, 1971; SUDWEEDS et al., 1981; WELCH e SMITH, 1970) demonstraram que a atividade de mastigação é característica que reflete as propriedades químicas e físicas do ingrediente, como o teor da fração FDN, o tamanho de partículas, a fragilidade do ingrediente e a umidade intrínseca.

Trabalhos clássicos (SWAIN; ARMENTANO, 1994; ARMENTANO; PEREIRA, 1997; MONEY; ALLEN, 1997) envolvendo o uso de animais na quantificação da fração FDNfe destacaram que ingredientes devem ser comparados em relação a um padrão hipotético do qual resultará em valor máximo de mastigação por quilograma de MS ou da fração FDN. Estes autores consideraram que a fração FDN da alfafa, ou a fração FDN da silagem de milho é completamente efetiva (fator de efetividade = 1) e que a fração FDN do milho e de suplementos protéicos se caracteriza por ser completamente não efetiva (fator de efetividade = 0). Estes ingredientes, usados como padrões, atingiram aproximadamente 240 minutos de mastigação por quilograma de MS ou da fração FDN para vacas não lactantes, ingerindo entre 0,4 a 2 vezes a exigência de manutenção. A variação no tempo de mastigação entre as fontes de forragens longas está

relacionada principalmente às diferenças no teor da fração FDN, entretanto, a taxa de mastigação por quilograma dessa fração, aumenta com o encremento no teor da fração FDN de forragens não picadas (Tabela 2).

Tabela 2 - Efeito do tamanho de partículas da forragem sobre a atividade de mastigação de vacas leiteiras e relação entre atividade de mastigação e teor da fração FDN nos ingredientes

Ingrediente/ Forma física	FDN	Atividade total de mastigação		Tempo relativo de mastigação
		min/kg de MS	min/kg de FDN	
Feno de alfafa				
Longo	54	72	134	100
Picado (38 mm)	54	59	109	82
Feno de Bermuda				
Longo	72	108	149	100
Picado (38 mm)	72	85	118	79
Silagem de milho				
Picado (19 mm)	68	66	97	100
Picado (13 mm)	62	60	96	99
Picado (6 mm)	60	40	66	68
Feno de Alfafa				
Picado (25 mm)	55	52	95	100
Picado (5 mm)	45	30	66	69

Fonte: Adaptado de Mertens (1997)

A redução do tamanho de partícula da forragem induz a menor atividade de mastigação, por quilograma da fração FDN ou por quilograma de MS. Mertens (1997) relatou que forragens picadas podem reduzir a atividade de mastigação entre 20 e 40% e forragens picadas com tamanho médio de 5 mm resultam em aproximadamente 57% da mastigação quando comparadas com forragem contendo tamanho médio de 25 mm.

### 1.4.3 Caracterização dos métodos de determinação do fator de efetividade da fração fibra detergente neutro

A efetividade da fração FDN pode ser determinada por meio de diversos procedimentos metodológicos, o que pode resultar em valores distintos de efetividade. A avaliação de respostas em animais leva à valores de fator de efetividade discrepantes. A capacidade da fração FDN de FFNF em manter o teor de gordura no leite, por exemplo, é maior que sua capacidade em estimular mastigação (SWAIN; ARMENTANO, 1994; PEREIRA et al., 1999). Neste caso, a efetividade calculada pelo teor de gordura no leite será maior que aquela calculada pelo tempo de mastigação. Por outro lado, ingredientes capazes de estimular a mastigação, mas ricos em açúcares, apresentam maior efetividade determinada pelo tempo de mastigação que aquela estimada pelo teor de gordura no leite (MERTENS, 1997). Mesmo com valores divergentes, os fatores de efetividade avaliados por métodos diferentes deveriam apresentar alta correlação (MERTENS, 1997), no entanto, isto nem sempre ocorre (ARMENTANO; PEREIRA, 1997).

A determinação do *fef* da fração FDN de um ingrediente pode ser realizada com base em bio-ensaios (ARMENTANO; PEREIRA, 1997; MONEY; ALLEN, 1997), que avaliam a efetividade por meio de resposta de animais (ex.: mastigação, “mat” ruminal, motilidade ruminal) ou avaliações em laboratório (MERTENS, 1997; LAMMERS et al., 1996) utilizando métodos que envolvam o uso de peneiras. Nesse cenário, teoricamente, duas forragens com teores da fração FDN e tamanhos médios de partículas similares deveriam apresentar a mesma efetividade física, ou a mesma capacidade de estimular a mastigação. Contudo, esse fato nem sempre se aplica, tomando-se como exemplos a silagem de milho e a cana-de-açúcar.

Corrêa et al. (2003) não observaram diferenças significativas na atividade mastigatória de vacas holandesas alimentadas com rações contendo o mesmo teor da fração FDN proveniente de cana-de-açúcar *in natura* picada finamente ou silagem de milho (tabela 3). Embora esse experimento não tenha sido delineado para determinação da efetividade da fibra da cana-de-açúcar, foram utilizados seus dados para estimá-la,

com base no método descrito por Mooney e Allen (1997). Para realização dos cálculos foi assumido que a efetividade da fração FDN de concentrados é igual a zero, conforme descrito por Mooney e Allen (1997). A simulação dos *fef* da fração FDN da cana-de-açúcar *in natura* em relação a fração FDN da silagem de milho, utilizando os dados publicados por Corrêa et al. (2003), é apresentada na Tabela 4. Na metodologia sugerida por Mooney e Allen (1997) utilizou-se o valor fixo de 355 min/dia de atividade mastigatória basal, entretanto, para a realização desses cálculos foram utilizados três tempos de mastigação basal (250, 350 e 450 min/dia ou 12, 16, 20 min/kg MS consumida) e três teores basais (2,0, 2,6 e 3,2%) de gordura no leite. Os valores basais indicam a intensidade de uma dada resposta animal quando a ração consumida não contém a fração FDN de forragem. Armentano e Pereira (1997) demonstraram que as respostas basais diferem significativamente de zero e não podem ser assumidas como valores fixos, ou seja, em cada avaliação a resposta basal se apresenta com um valor distinto, justificando a utilização de alguns valores basais na presente simulação.

Tabela 3 – Atividade mastigatória e teor de gordura no leite de vacas holandesas em lactação consumindo cana-de-açúcar *in natura* picada finamente ou silagem de milho

	Silagem de milho	Cana-de-açúcar	<i>P</i>
Tempo de ingestão (min/dia)	228,0	234,0	0,64
Tempo de ruminação (min/dia)	479,0	453,0	0,39
Tempo de mastigação (min/dia)	707,0	687,0	0,49
Taxa de mastigação (min/kg MS)	31,1	33,6	0,19
% gordura no leite	3,56	3,64	0,22

Fonte: Adaptado de Corrêa et al. (2003)

Ao observar os valores da Tabela 4, nota-se que a efetividade física da fração FDN da cana-de-açúcar picada finamente demonstrou ser superior à efetividade física da fração FDN da silagem de milho (*fef* = 1).

Por definição, o *fef* da fração FDN pode variar de 0, quando o ingrediente não tem habilidade de estimular a resposta estudada (mastigação, ruminação, teor de gordura do leite), até 1, quando o estímulo do ingrediente teste à resposta estudada é

máximo, equivalente ao do padrão (ARMENTANO; PEREIRA, 1997). Neste exemplo, o fator de efetividade física da cana-de-açúcar *in natura* foi superior a 1 (tabela 4), ao considerar a silagem de milho como volumoso contendo 100% de efetividade da fração FDN. Ao utilizar o teor de gordura do leite como variável resposta, o fator de efetividade da cana também foi superior a 1 (tabela 4).

Tabela 4 – Simulação de fatores de efetividade física e efetividade da fração FDN da cana-de-açúcar *in natura* picada finamente em relação a fração FDN da silagem de milho para diferentes respostas do animal

Mastigação basal (min/dia)	Fator de efetividade <sup>1</sup>	Mastigação basal (min/kg MS)	Fator de efetividade <sup>2</sup>	% gordura basal	Fator de efetividade <sup>3</sup>
250	0,98	12	1,15	2,0	1,08
350	0,96	16	1,19	2,6	1,11
450	0,94	20	1,25	3,2	1,26

<sup>1</sup> fe calculado com base no tempo de mastigação em minutos por dia

<sup>2</sup> fe calculado com base no tempo de mastigação por quilograma de MS consumida

<sup>3</sup> fe calculado com base no teor de gordura no leite

Fonte: calculado à partir dos dados de Corrêa et al. (2003)

Outra simulação, utilizando o mesmo método (MOONEY; ALLEN, 1997), foi realizada com os dados publicados por Andrade et al. (1999). Neste trabalho, os autores compararam o desempenho de novilhas holandesas alimentadas com rações contendo o mesmo teor da fração FDN proveniente de cana-de-açúcar *in natura* picada finamente ou de silagem de milho. A atividade mastigatória das novilhas alimentadas com cana-de-açúcar foi significativamente superior à das novilhas alimentadas com silagem de milho (tabela 5), indicando maior efetividade física da fração FDN da cana-de-açúcar (tabela 6). Na presente simulação, também foram utilizados três tempos de mastigação basal (250, 350 e 450) para a realização dos cálculos e em todos os casos a efetividade física da cana foi maior do que 1

Tabela 5 - Atividade mastigatória de novilhas holandesas consumindo cana-de-açúcar *in natura* picada finamente ou silagem de milho

	Silagem de milho	Cana-de-açúcar	P
Tempo de ingestão (min/dia)	224	276	<0,01
Tempo de ruminação (min/dia)	470	536	<0,01
Tempo de mastigação (min/dia)	694	812	<0,01
Tempo de mastigação (min/kg MS)	86,9	107,0	<0,01

Fonte: Adaptado de Andrade (1999)

Tabela 6 - Fatores de efetividade física da fração FDN da cana-de-açúcar picada finamente em relação a fração FDN da silagem de milho

Mastigação basal (min/dia)	Fator de efetividade <sup>1</sup>	Mastigação basal (min.kg MS <sup>-1</sup> )	Fator de efetividade <sup>2</sup>
250	1,25	20	1,29
350	1,33	30	1,34
450	1,47	40	1,42

<sup>1</sup> fe calculado com base no tempo de mastigação em minutos por dia

<sup>2</sup> fe calculado com base no tempo de mastigação por quilograma de MS consumida

Fonte: calculado à partir dos dados de Andrade (1999)

Além das diferenças entre os valores de efetividade determinados em laboratório ou em bio-ensaios, existem divergências entre os delineamentos utilizados nos bio-ensaios (ARMENTANO; PEREIRA, 1997; MOONEY; ALLEN, 1997) e por conseqüência, nos valores dos fatores de efetividade obtidos com base nesses estudos. No delineamento apresentado por Mooney e Allen (1997), a fração FDN do ingrediente teste é comparada a fração FDN do padrão (ex. silagem de alfafa ou silagem de milho), em que apenas dois tratamentos são utilizados (figura 2). No delineamento sugerido por Armentano e Pereira (1997) utiliza-se ração com teor adequado da fração FDNF (controle positivo), outra contendo nível sub-ótimo da fração FDNF (controle negativo) e a ração teste, em que a dose da fração FDN é semelhante ao controle negativo e o ingrediente teste é incluído até atingir o nível da fração FDN do controle positivo (figura 2). O aumento da resposta animal por unidade de aumento na fração FDN do

ingrediente teste, proporcionalmente à resposta animal por unidade de aumento na fração FDN do ingrediente padrão, define o fator de efetividade.

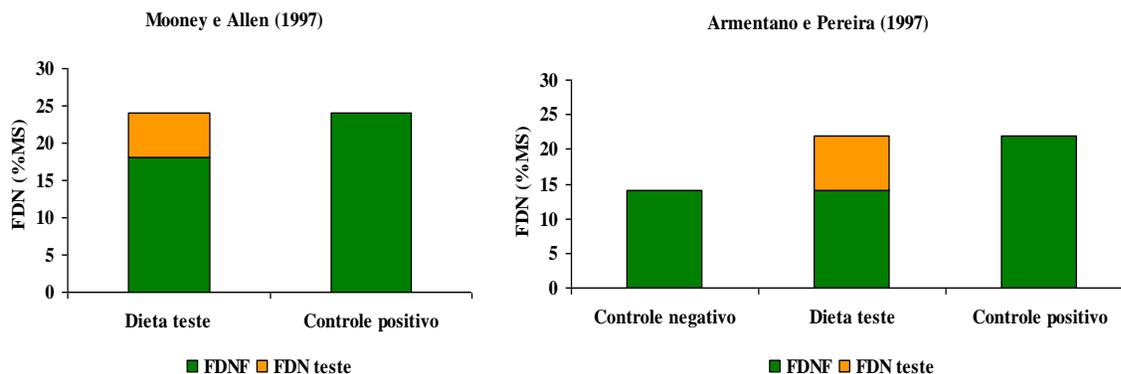


Figura 2 – Delineamentos dos bio-ensaios utilizados para determinação do fator de efetividade de um ingrediente teste em relação a um ingrediente padrão

Na metodologia de Armentano e Pereira (1997), os cálculos se baseiam na razão das inclinações das regressões (coeficientes angulares) envolvendo o teor da fração FDN da ração no eixo das abscissas e a resposta animal (ex. tempo de mastigação) no eixo das ordenadas. As retas se originam do controle negativo, chegando até o controle positivo ou a ração teste (figura 3).

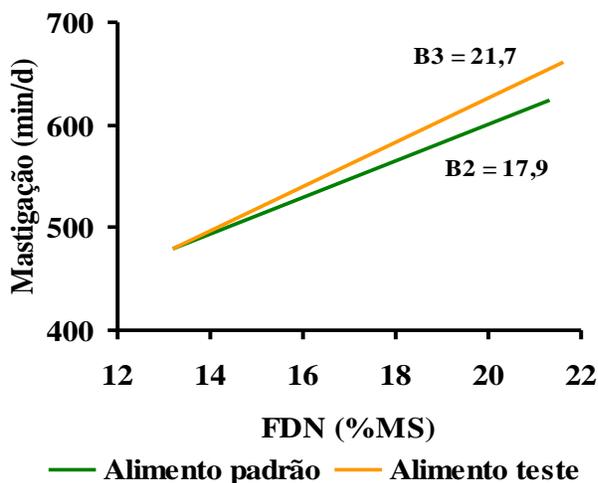


Figura 3 – Correlações entre a fração FDN da ração (FDN padrão + FDN teste) e tempo de mastigação. Os dados utilizados neste exemplo foram publicados por Lima (2003). O ingrediente padrão foi a silagem de milho e o ingrediente teste foi a cana-de-açúcar

O método de Mooney e Allen (1997), entretanto se baseia no seguinte cálculo:

$$TRA = B_0 + B_1 * F_C + B_2 * F_P + B_3 * F_T$$

em que:

TRA: total da resposta expressa pelo animal na ração controle positivo ( $TRA_P$ ) ou na ração teste ( $TRA_T$ );

$B_0$ : resposta basal à uma ração sem forragem. Este valor é calculado usando médias de tratamentos encontradas na literatura. Na revisão de Mooney e Allen (1997) o valor encontrado para atividade mastigatória foi de 355 min/dia;

$B_1$ : aumento da resposta animal por unidade de aumento da fração FDN de ingredientes concentrados. Este valor é calculado usando médias de tratamentos encontradas na literatura. Na revisão de Mooney e Allen (1997) este valor não diferiu significativamente de zero;

$F_C$ : fração FDN de ingredientes concentrados como porcentagem da MS da ração;

$B_2$ : aumento da resposta animal por unidade de aumento da fração FDN do ingrediente padrão;

$F_P$ : fração FDN do ingrediente padrão como porcentagem da MS da ração;

$B_3$ : aumento da resposta animal por unidade de aumento da fração FDN do ingrediente teste;

$F_T$ : fração FDN do ingrediente teste como porcentagem da MS da ração.

Logo,  $B_2$  é calculado na ração controle positivo e  $B_3$  é calculado na ração teste, substituindo-se o  $B_2$  calculado na ração controle positivo:

$$B_2 = (TRA_P - B_0) / F_P \qquad B_3 = [(TRA_T - B_0) - (B_2 * F_P)] / F_T$$

Assim, de acordo com Mooney e Allen (1997), a razão  $B_3/B_2$  define o fator de efetividade do ingrediente teste em relação ao ingrediente padrão.

Para ilustrar as diferenças nos fatores de efetividade gerados pelos métodos de Mooney e Allen (1997) e Armentano e Pereira (1997) são utilizados os dados

publicados por Lima (2003) em uma simulação para determinar o fator de efetividade física da cana-de-açúcar em relação a silagem de milho, baseando-se na atividade mastigatória (min/dia). No experimento de Lima (2003), o tempo de mastigação aumentou 17,9 minutos/dia, por unidade de aumento da fração FDN de silagem de milho. Para a cana-de-açúcar *in natura*, o tempo de mastigação aumentou 21,7 minutos/dia, por unidade de aumento da fração FDN. Assim, o fator de efetividade física da cana-de-açúcar em relação à silagem de milho, determinado pela metodologia de Armentano e Pereira (1997), foi **1,21** (21,7/17,9) (figura 3). Por outro lado, utilizando a metodologia proposta por Mooney e Allen (1997), o fator de efetividade seria calculado como se segue:

$$B_2 = (TRA_P - B_0)/F_P$$

$$B_2 = (624 - 355)/21,3 = 12,6$$

$$B_3 = [(TRA_T - B_0) - (B_2 * F_P)]/F_T$$

$$B_3 = [(661 - 355) - (12,7 * 13,3)]/8,3 = 16,6$$

$$B_3/B_2 = 16,6/12,6 = \mathbf{1,32}$$

Conforme descrito, o fator de efetividade física da fração FDN da cana-de-açúcar em relação à silagem de milho, determinado pela metodologia de Mooney e Allen (1997), foi de 1,32, ou seja, 11 unidades percentuais superior ao fator de efetividade calculado pelo método de Armentano e Pereira (1997). Esta diferença pode ser explicada pela utilização de um  $B_0$  “virtual”, pré-determinado com base na literatura. Entretanto, em cada avaliação o termo  $B_0$  pode ter um valor distinto, e pode ser considerado indefinível (Armentano e Pereira, 1997). No experimento de Lima (2003), a regressão envolvendo os tempos de mastigação (min/dia) contra os teores da fração FDN nas rações contendo apenas silagem de milho (controles negativo e positivo) resultou em intercepto igual a 242,7 min/dia sendo este o valor real de  $B_0$  nesta triagem. Assim, refazendo os cálculos, pelo método de Mooney e Allen (1997), com o valor real de  $B_0$ , tem-se:

$$B_2 = (TRA_P - B_0)/F_P \quad B_3 = [(TRA_T - B_0) - (B_2 * F_P)]/F_T$$

$$B_2 = (624 - 242,7)/21,3 = 17,9 \quad B_3 = [(661 - 242,7) - (17,9 * 13,3)]/8,3 = 21,7$$

$$B_3/B_2 = 21,7/17,9 = 1,21$$

Neste caso, o fator de efetividade da fração FDN da cana-de-açúcar calculado pelo método de Mooney e Allen (1997), em relação à silagem de milho, foi idêntico àquele calculado pelo método de Armentano e Pereira (1997). A figura 4 demonstra, portanto, o efeito do valor de  $B_0$  sobre o fator de efetividade da fração fibra.

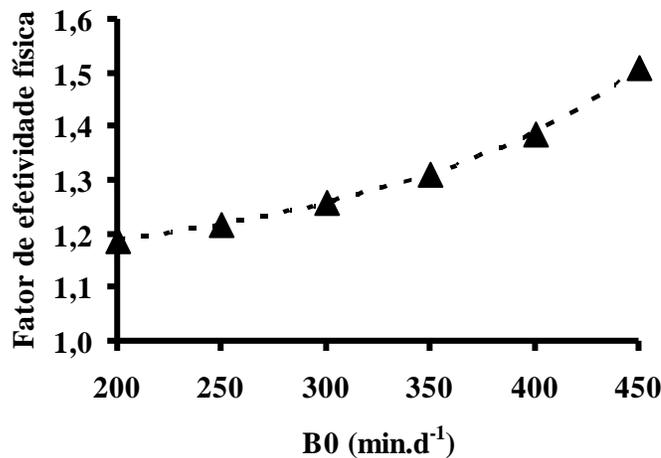


Figura 4 – Influência do valor de  $B_0$  sobre o fator de efetividade física da cana-de-açúcar em relação a silagem de milho, calculado pelo método de Mooney e Allen (1997). Os resultados foram simulados com os dados publicados por Lima (2003)

Como mencionado anteriormente, é possível encontrar resultados divergentes de efetividade para um mesmo ingrediente utilizando procedimentos metodológicos distinto. Mais informações são necessárias para determinar a acurácia dos vários procedimentos existentes na literatura para calcular a efetividade de fontes de fibra, visto que a falta de padrão de resposta e validação dos métodos para medir a efetividade de ingredientes fibrosos até o momento tem limitado a aplicação deste conceito em programas de formulação de ração.

## 1.5 Exigências de fibra para bovinos de corte

FDNfe é caracterizada pelo NRC Gado de Corte (1996) como a percentagem da fração FDN retida em uma peneira com orifício de 1,18 mm, de acordo com os dados apresentados por Sniffen et al. (1992) e, são utilizados como preditores do pH ruminal (Equação 1). Este sistema utiliza os dados de Russell et al. (1992) e Pitt et al. (1996) para justificar a relação existente entre os valores de pH ruminal, a produção de proteína microbiana e a degradação de carboidratos fibrosos (CF).

$$\text{pH ruminal} = 5,425 + 0,04229 \times \% \text{ FDNfe} \quad \text{(Equação 1)}$$

para FDNfe < 35% da MS  $(r^2 = 0,52)$

O NRC (1996) utiliza a FDNfe para auxiliar nos cálculos do valor de pH ruminal e da taxa de passagem, ou seja, para um dado valor de FDNfe na ração, o programa irá prever um valor de pH ruminal, que por sua vez será utilizado para ajustar a taxa de digestão da fibra e a síntese de proteína microbiana. Este ajuste baseia-se no fato que a ração com menos de 20% de FDNfe (% da MS) resultará em pH inferior a 6,2 diminuindo o crescimento microbiano e a taxa de degradação da fibra. Dessa forma, esse sistema recomenda a inclusão mínima de 20 % de FDNfe (% da MS) em rações de alto grão para manter o pH superior ou igual a 6,2, maximizar a digestão da fibra e a síntese de proteína microbiana. Também, para rações com alto valor energético, objetivando máxima eficiência alimentar, com bom manejo de cocho e uso de ionóforo, o NRC (1996) recomenda o mínimo de 8% de FDNfe na ração total (% da MS), com base nos dados publicados por Pitt et al. (1996) e Fulton et al. (1979) (tabela 7). Com base nessa estimativa, o NRC (1996) ressalta que para rações contendo menos de 40% de forragem (menos de 20% de FDN), ocorre uma redução de 2,2% na síntese de proteína microbiana para cada unidade percentual reduzida no valor de FDNfe oriundo de forragem.

Tabela 7 - Exigências estimadas da fração FDN fisicamente efetivo (FDNfe) para bovinos de corte

Tipo de ração	Exigências mínimas de FDNfe (% da MS)
Rações de alto concentrado para maximizar a eficiência alimentar, bom manejo de cocho e uso de ionóforos	5 a 8
Manejo de cocho variável, com ou sem a presença de ionóforos	20
Rações de alto concentrado para maximizar o uso CNF e produção de proteína microbiana	20

<sup>a</sup> Concentração necessária para manter pH do rúmen > 5,6-5,7; limiar abaixo do qual bovinos interrompem o consumo

<sup>b</sup> Concentração necessária para manter o pH do rúmen acima de 6,2; maximizando a digestão de fibra e/ou síntese de proteína microbiana

Fonte: NRC (1996)

Os dados de pH ruminal utilizados pelo NRC (1996) são oriundos dos estudos de Pitt et al. (1996) que correlacionou os valores de pH ruminal e da FDNfe das ração total de vários experimentos. Esse autor avaliou 34 trabalhos publicados na literatura utilizando vacas em lactação, novilhos e um estudo com ovinos (figura 5). Nesta avaliação, a FDNfe da ração de cada experimento foi estimada com a soma da FDNfe de cada ingrediente da ração utilizando os valores tabulados por Sniffen et al. (1992).

Como mencionado no item 1.4.1, o método laboratorial proposto por Mertens (1997) para estimar FDNfe e utilizado por Sniffen et al. (1992), apresenta algumas limitações. Dessa forma, os valores de FDNfe preconizados por Sniffen et al. (1992) e utilizados pelo NRC (1996) devem ser utilizados com certa cautela.

Quando Pitt et al. (1996) relacionaram o pH ruminal e a FDNfe (% da MS consumida) estes autores notaram que nenhuma variação no pH foi explicada quando a ração continha mais que 30% de FDNfe, entretanto, estes autores relataram que quando a FDNfe da ração diminuía, o pH ruminal também diminuía. Utilizando a mesma relação e, apoiado no trabalho de Russell et al. (1992) que verificaram redução linear na produção de proteína microbiana e digestão da fibra quando o pH ruminal apresentava-

se abaixo de 6,2, Pitt et al. (1996) concluíram que a exigência mínima de FDNfe seria 20 % da MS para que o pH se mantivesse acima de 6,2.

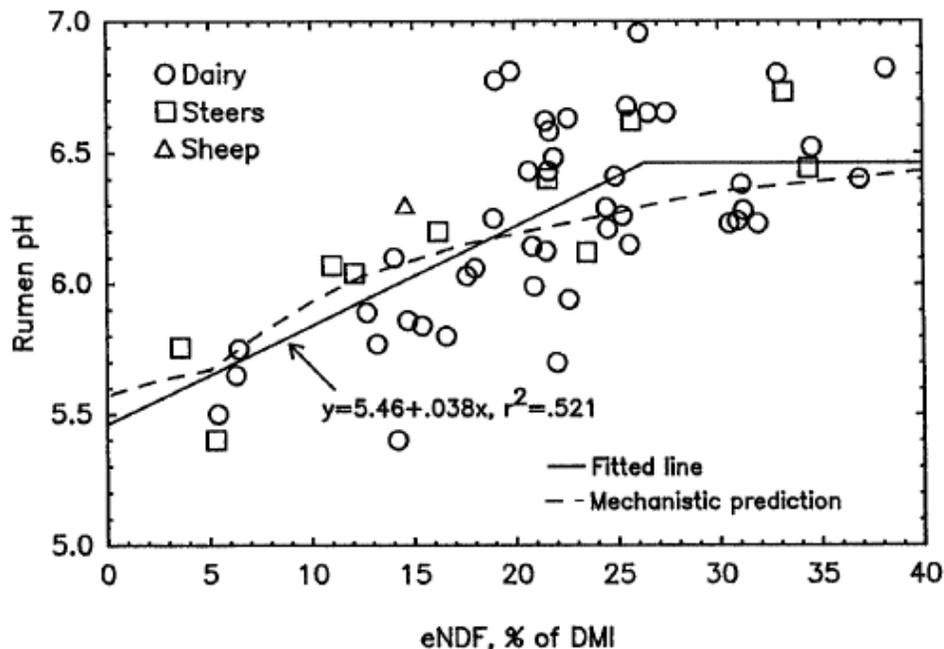


Figura 5 – Relação empírica entre o pH ruminal e o teor de FDN fisicamente efetivo (FDNfe, % da MS) na ração utilizando dados de 34 trabalhos. Fonte: Adaptado de Pitt et al. (1996)

Para as exigências mínimas de 5 a 8% de FDNfe o NRC (1996), utilizou apenas um único trabalho para justificar tais exigências. Esses valores são oriundos do trabalho realizado por Fulton et al. (1979), que observaram que quando animais apresentavam pH ruminal inferiores a 5,6 e 5,7, ocorria interrupção do consumo de MS (kg/hora) (figura 6).

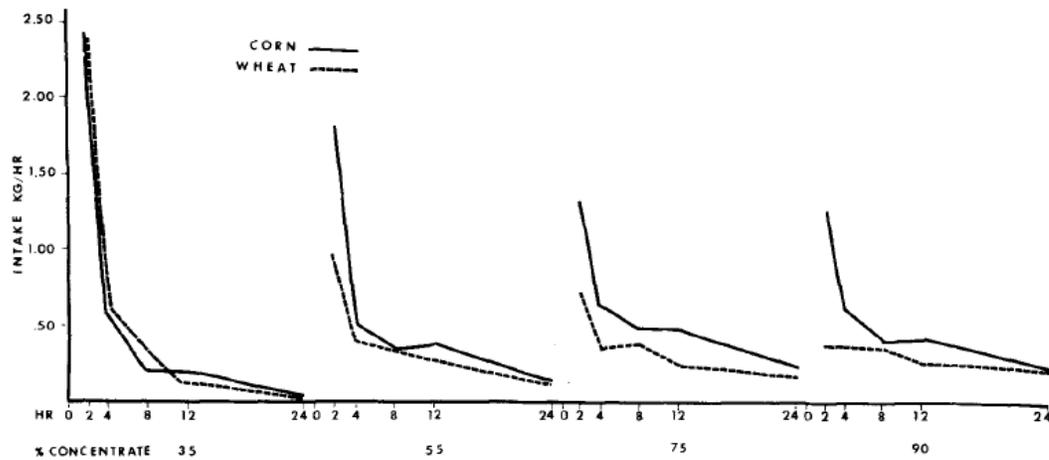


Figura 6 – Quantidade de matéria seca consumida por hora (kg/h) em intervalos de tempo de 0 a 2, 2 a 4, 4 a 8, 8 a 12 e 12 a 24 horas após a refeição, para quatro doses de inclusão de concentrado na ração (35%, 55%, 75% ou 90%) (% da MS). Fonte: Adaptado de Fulton et al. (1979)

Em resumo, o NRC Gado de Corte (1996) utiliza valores tabulares para estimar a FDNfe dos ingredientes, ou seja, a proporção da fração FDN retida em peneira de 1,18 mm de diâmetro do orifício. Também, esse sistema se apóia em apenas três trabalhos (FULTON et al., 1979; PITT et al., 1996; SNIFFEN et al., 1992) para justificar as exigências mínimas de FDNfe, o que sugere cautela em sua adoção. Dessa forma, medidas do fator de efetividade da fração FDN utilizando ensaios biológicos (ARMENTANO; PEREIRA, 1997) poderiam ser adotados por esse sistema, fornecendo maior precisão quanto a resposta dos animais. Também, tendo em vista a grande utilização de rações com alto teor de grãos e co-produtos em substituição a forragens em confinamentos em todo mundo, tornam-se necessário maiores estudos envolvendo exigências mínimas de FDNfe e as interações entre fontes e teores de fibra na ração de ruminantes

## Referências

ALLEN, M.S.; VOELKER, L.J.A. In vivo methods to measure digestibility and digestion kinetics of feed fractions in the rumen. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL AVANÇOS EM TÉCNICAS DE PESQUISA EM NUTRIÇÃO DE RUMINANTES, 2007, Pirassununga. **Anais...** Pirassununga: USP, 2007. p. 72-89.

ALLEN, M.S. Relationship between fermentation acid production in the rumen and the requirement for physically effective fiber. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 80, p. 1447-1462, 1997.

ANDRADE, M.A.F.; PEREIRA, M.N. Performance of Holstein heifers on fresh sugarcane as the only raçãory forage. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 82 (Suppl. 1), p. 91, 1999.

ARMENTANO, L.E.; PEREIRA, M.N. Measuring the effectiveness of fiber by animal response trials. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 80, p. 1416-1425, 1997.

BAE, D.H.; WELCH, J.G.; GILMAN, B.E. Mastigation and rumination in relation to body size of cattle. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 66, p. 137, 1983.

BALCH, C.C. Proposal to use time spent chewing as index of the extent to which diets for ruminants possess the physical property of fibrousness characteristics of roughages. **British Journal Nutrition**, London, v. 26, p. 383, 1971.

BARKER, I. K.; VAN DREUMEL, A. A.; PALMER, N. The alimentary system. In: JUBB, K.V.F.; KENNEDY, P.C.; PALMER, N. **Pathology of domestic animals**. 4th. ed. San Diego: Academic Press, 1995. v. 2.

BULLE, M.L.M.; RIBEIRO, F.G.; LEME, P.R.; TITTO, E.A.L.; LANNA, D.P.D. Desempenho de tourinhos cruzados em rações de alto teor de concentrado com bagaço de cana-de-açúcar como único volumoso. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 31, n.1, p. 444-450, 2002.

CLARK, P.W.; ARMENTANO, L.E. Replacement of alfalfa neutral detergent fiber with a combination of nonforage fiber sources. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 80, p. 675-680, 1997.

CORREA, C.E.S.; PEREIRA, M.N.; OLIVEIRA, S.G.; RAMOS, M.H. Performance of Holstein cows fed sugarcane or corn silages of different grain texture. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 60, n.4, p. 621-629, 2003.

CRICHLLOW, E.C.; CHAPLIN, R.K. Ruminant lactic acidosis: Relationship of fore stomach motility to nondissociated volatile fatty acids levels. **American Journal of Veterinary Research**, Schaumburg, v. 46, n. 9, p. 1908-1911, 1985.

FIRKINS, J.L., Effects of feeding nonforage fiber sources on site of fiber digestion. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 80, p. 1426-1437, 1997.

FULTON, W.R.; KLOPFENSTEIN, T.J.; BRITTON, R.A. Adaptation to high concentrate diets by beef cattle. I. Adaptation to corn and wheat diets. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 49, p. 775-784, 1979.

GAEBEL, G.; BELL, M.; MARTENS, H. The effect of low mucosal pH on sodium and chloride movement across the isolated rumen mucosa of sheep. **Quarterly Journal of Experimental Physiology**, Cambridge, v. 74, n. 1, p. 35-44, Jan. 1989.

GALYEAN, M.L.; DEFOOR, P.J. Effects of roughage source and level on intake by feedlot cattle. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 81, p. E8-E16, 2003.

GRANT, R.J. Interactions among forages and nonforage fiber sources. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 80, p. 1438-1446, 1997.

GRANT, R.J.; MERTENS, D.R. Influence of buffer pH and raw corn starch addition on *in vitro* fiber digestion kinetics. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 75, p. 2762-2768, 1992.

HERSOM, M.J.; BOSS, D.L.; WAGNER, J.J.; ZINN, R.A.; BRANINE, M.E. Alpha beef cattle nutrition symposium: alternative energy sources for beef cattle finishing diets. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 1, p. 2840, 2009.

HINTZ, H.F.; MATHIES, M.M.; LEY, H.F.; LOOSLI, J.K. Effects of processing and of feeding hay on the digestibility of soybean hulls. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 23, p. 43, 1964.

INGVARTSEN, K.L. Models of voluntary food intake in cattle. **Livestock Production Science**, v. 39, p. 19 – 38, 1994.

JUNG, H.G.; ALLEN, M.S. Characteristics of plant cell walls affecting intake and digestibility of forages by ruminants. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 73, p. 2774-2790, 1995.

LAMMERS, B.P.; BUCKMASTER, D.R.; HEINRICHS, A.J. A simple method for the analysis of particle sizes of forage and total mixed rations. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 79, p. 922-928, 1996.

LIMA, M.L.M. **Análise comparativa da efetividade da fibra de volumosos e subprodutos**. 2003. 118p. Tese (Doutorado em Ciência Animal e Pastagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

LOGGINS, P.E.; AMMERMAN, C.B.; MOORE, J.E.; SIMPSON, C.F. Effects of feeding long hay or sodium bicarbonate with ground or pelleted diets high in citrus pulp on lamb performance. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 27, p. 745-750, 1964.

MERTENS, D. Formulating dairy rations: Using fiber and carbohydrate analyses to formulate dairy rations. In: INFORMATION CONFERENCE WITH DAIRY AND FORAGE INDUSTRIES, 1996. Wisconsin. **Proceedings...** Wisconsin: U.S. Dairy Forage and Research Center, 1996. p. 81-92.

MERTENS, D. Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 80, p. 1463-1481, 1997.

MERTENS, D. Fiber composition and value of forages with different NDF concentrations. In: SOUTHWEST NUTRITION AND MANAGEMENT CONFERENCE, 1998. Arizona. **Proceedings...** Arizona: University of Arizona, 1998. p. 85-99.

MERTENS, D.R. Análise da fibra e sua utilização na avaliação de ingredientes e formulações de rações. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 29., 1992. Lavras. **Anais...** Lavras: SBZ, 1992. p. 188-217

MILLEN, D.D.; PACHECO, R.D.L.; ARRIGONI, M.D.B.; GALYEAN, M.L.; VASCONCELOS, J.T. A snapshot of management practices and nutritional recommendations used by feedlot nutritionists in Brazil. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 87, p. 3427-3439, 2009.

MOONEY C.S.; ALLEN, M.S. Physical effectiveness of the neutral detergent fiber of whole cottonseed relative to that of alfalfa silage at two lengths of cut. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 80, p. 2052-2061, 1997.

NAKAMURA, T.; OWEN, F.G. High amounts of soyhulls for pelleted concentrate diets. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 72, p. 988, 1989.

JENSEN, R.; CONNELL, W.E.; DEEM, A.W. Rumenitis and its relation to rate of change of ration and the proportion of concentrate in the ration of cattle. **American Journal of Veterinary Research**, Schaumburg, v. 15, p. 425-428, July 1954.

JENSEN, R.; FLINT, J.C.; UDALL, R.H.; DEEM, A.W.; SEGER, C.L. Parakeratosis of the rumens of lambs fattened on the pelleted feed. **American Journal of Veterinary Research**, Schaumburg, v. 19, n. 71, p. 277-282, Apr. 1958.

LEEK, B.F.; HARDING, R.H. Sensory nervous receptors in the ruminant stomach and the reflex control of reticulo-ruminal motility. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF RUMINANT PHYSIOLOGY, DIGESTION AND METABOLISM IN THE RUMINANT, 4., 1975, Sydney. **Proceedings...** Sydney, Australia, 1975.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requirements of beef cattle**. 7th.ed. Washington: National Academy Press, 1996. 242p.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requeriment of domestic animals. Nutrient requirements of dairy cattle**. 7<sup>th</sup> ed. Washington: National Academy Press, 2001, 381p.

NUSSIO, L.G.; CAMPOS, F.P.; LIMA, M.L.M. Metabolismo de carboidratos estruturais. In: BERCHIELLI, T.T.; PIRES, A.V.; OLIVEIRA, S.G. **Nutrição de Ruminantes**. Jaboticabal: Funep, 2006. p. 183-228.

OWENS, F.N. Adaptação de gado confinado a rações ricas em grãos: distúrbios metabólicos e desempenho. In: SIMPÓSIO SOBRE BOVINOCULTURA DE CORTE: Requisitos de qualidade na bovinocultura de corte, 6., 2008. Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2008a. p. 221-236.

OWENS, F.N. Optimization of feedlot diets with high density of energy and nutrients. In: SIMPÓSIO DE PRODUÇÃO DE GADO DE CORTE, 6., ;SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE PRODUÇÃO DE GADO DE CORTE, 2., 2008, Viçosa, **Anais...** Viçosa: UFV, 2008b. p. 95-120.

OWENS, F.N., SAPIENZA, D.A., HASSEN, A.T. Impact of nutrient composition of feeds on digestibility of organic matter by cattle: A review. **Journal of Animal Science, Champaign**, 88 (jas. 2009-2559v1- jas.2009-2559) doi: 10.2527/jas.2009-2559 [Epub ahead of print]

PEREIRA, M.N.; GARRETT, E.F.; OETZEL, G.R.; ARMENTANO, L.E. Partial replacement of forage with nonforage fiber sources in lactating cow diets. I. Performance and Health. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 82, p. 2716-2730, 1999.

PITT, R.E.; Van KESSEL, J.S.; FOX, D.G. BARRY, M.C.; VAN SOEST, P.J. Prediction of ruminal volatile fatty acids and pH within the net carbohydrate and protein system. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 74, p. 226, 1996.

POPPI, D.P.; NORTON, B.W. The validity of the critical size theory for particles leaving the rumen. **Journal of Agricultural Science**, Champaign, v. 94, p. 275-280, 1980.

ROBERTSON, J.B.; VAN SOEST, P.J. The detergent system of analysis and its application to human foods. In: JAMES, O.; THEANDER, (Ed.). **The analysis of raçãory fiber in food. W.P.T.** New York: Marcel Dekker, 1981.. , p. 123-158,

RUSSELL, J.R.; O'CONNOR, J.D.; FOX, D.G.; VAN SOEST, P.J. SNIFFEN, C.J. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets. I. Ruminal fermentation. **Journal of Animal Science**, Champaingh, v. 70, p. 3551, 1992.

SHAIN, D.H.; STOCK, R.A.; KLOPFENSTEIN, T.J.; HEROLD, D.W. The effect of forage source and particle size on finishing yearling steer performance and ruminal metabolism. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 77, p. 1082-1092, 1999.

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

SMITH, H.A. Ulcerative lsesions of the bovine rumen and their possible relation to hepatic abscesses. **American Journal of Veterinary Research**, Schaumburg, v. 5, p. 234-242, July 1944.

SINGH, S.S.; MURRAY, R.D.; WARD, W.D. Histopathological and morphometric studies on the hooves of dairy and beef cattle in relation to overgrown sole and laminitis. **Journal of Comparative Pathology**, London, v. 107, n. 3, p. 319-328, Oct. 1992.

SUDWEEKS, E.M.; ELY, L.O.; MERTENS, D.R.; SISK, L.R. Assessing minimum amounts and form of roughages in ruminant diets: roughage value index system. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 53, n 81, p. 1406, 1981.

SWAIN, S.M.; ARMENTANO, L.E. Quantitative evaluation of fiber from nonforage sources used to replace alfalfa silage. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 77, p. 2318, 1994.

UNDERSANDER, D.; MERTENS, D.; THIEX, N. **Forage analysis procedures**. Omaha, NE: National Forage Testing Association, 1993. 154 p.

VAN SOEST, P.J. **Nutritional ecology of the ruminant** 2nd Ed. Ithaca, NY; Cornell University Press, 1994. 476p.

VAN SOEST, P.J.; WINE, R.H. Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. IV Determination of plant cell-wall constituents. **Journal of Association of Official Agricultural Chemists**, p. 50-55, 1967.

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

VASCONCELOS, J.T.; GALYEAN, M.L. Nutritional recommendation of feedlot consulting nutritionists: The 2007 Texas Tech University survey. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 85, p. 2772 - 2781, 2007.

ZINN, R.A.; WARE, R.A. Forage quality: digestive limitations and their relationships to performance of beef and dairy cattle. **In: ANNUAL SOUTHWEST NUTRITION & MANAGEMENT CONFERENCE**, 2., 2007. Temple. **Proceedings....** Temple, 2007. p. 49 – 54.

WELCH, J.G.; SMITH, A.M. Forage quality and rumination time in cattle. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 53, p. 797, 1970.



## 2 EFEITO FONTES DE FIBRA NO CONSUMO VOLUNTÁRIO, COMPORTAMENTO INGESTIVO E NAS CARACTERÍSTICAS DA DIGESTA RUMINAL DE BOVINOS DE CORTE

### Resumo

Foram utilizados seis bovinos machos castrados da raça Nelore contendo cânula no saco dorsal do rúmen, alojados em gaiolas metabólicas, distribuídos em delineamento do tipo quadrado latino 6x6, sendo cada período experimental de 19 dias. Seis rações foram formuladas com diferentes teores e fontes de fibra: CN (controle negativo – com 10% da fração FDN de silagem de milho); CP (controle positivo – com 20% da fração FDN de silagem de milho); e quatro rações contendo 10% da fração FDN de silagem de milho e 10% da fração FDN de cada uma das seguintes fontes: bagaço *in natura* de cana-de-açúcar (BAG), cana-de-açúcar (CAN), casca de soja (CSOJ) e torta de algodão desengordurada (TALG). Comparado ao tratamento CP, observou-se CMS semelhante ( $P>0,05$ ) entre os tratamentos CAN, CSOJ e TALG (9,20, 8,60, 8,83 e 9,52 kg.dia<sup>-1</sup>, respectivamente). Contudo, tratamento BAG promoveu depressão no CMS (6,97 kg.dia<sup>-1</sup>). Ração contendo menor teor de fibra (CN) apresentou resultado intermediário quanto ao CMS. Não houve diferença ( $P>0,05$ ) no consumo da fração FDN da ração total (RT) entre teor e fontes de fibra avaliadas. Casca de soja e torta de algodão desengordurada apresentaram menor tamanho médio de partículas (TMP) (6,44 e 15,62 mm) ( $P>0,05$ ) em comparação a silagem de milho, bagaço *in natura* de cana-de-açúcar e cana-de-açúcar (19,1, 19,3, 19,5 mm). O consumo ajustado da matéria seca e o consumo ajustado da fração FDNf em relação ao TMP da ração total, apresentaram diferença ( $P<0,05$ ) entre os tratamentos estudados. Teor e fonte de fibra não alteraram ( $P>0,05$ ) o tempo da primeira refeição, o número de refeições e a duração média diária de cada refeição em cada tratamento (com média de 35,8 min, 11,20 dias e 18,0 min, respectivamente), podendo este comportamento ser explicado por diferenças na taxa de ingestão entre os tratamentos. Observou-se alterações ( $P>0,05$ ) no tempo de ruminação e mastigação entre os tratamentos estudados, promovendo por consequência mudanças no pH ruminal. Valor mínimo de pH ruminal, ao longo de 24 horas, foi observado entre 10 e 12 horas após a alimentação de bovinos alimentados uma vez ao dia. A consistência do “mat” ruminal foi influenciada ( $P<0,05$ ) por fontes e nível de forragem. Valores semelhantes na taxa de ascensão em centímetro por segundo ( $P>0,05$ ) foram observados nos tratamentos CP (2,07 cm/s), BAG (1,34 cm/s), CAN (1,33 cm/s) e TALG (2,81 cm/s), diferindo ( $P<0,05$ ), entretanto dos tratamentos CN (8,51 cm/s) e CSOJ (7,73 cm/s). Observou-se no presente estudo forte relação entre repleção ruminal e CMS. Tratamento BAG promoveu maior repleção ruminal (4 g de FDN no rúmen/kg de massa corporal) diferindo dos tratamentos CN, CP, CSOJ e TALG (2, 2, 1 e 2 g de FDN no rúmen/kg de massa corporal, respectivamente). Tratamento CAN apresentou comportamento intermediário quanto ao efeito de repleção ruminal. Formulações de rações envolvendo apenas características químicas (FDN) de fontes de fibra não são adequadas para

manter padrão adequado de consumo, de tempo de mastigação, de pH ruminal e, conseqüentemente, conteúdo ruminal.

Palavras-chave: Tempo de ruminação; Tempo de mastigação; Repleção ruminal; Mat ruminal; Forragem; Co-produtos

## Abstract

Six ruminally cannulated Nellore steers, housed in tie-stall cages, were used in a 6 x 6 Latin square design. Six TMR diets were used represented by level and source of fiber: NC (negative control- presenting 10% of the NDF fraction as corn silage); PC (positive control - presenting 20% of the NDF fraction as corn silage) and four diets containing 10% of the NDF fraction as corn silage and 10% of the NDF fraction as one of the following sources: sugarcane (SC), sugarcane bagasse (SCB), soybean hulls (SH) and high oil – cottonseed meal (HOCM). In comparison to the PC treatment, it was observed similar dry matter intake (DMI) ( $P > 0.05$ ) was observed among the treatments SC, SH e HOCM (9.20, 8.60, 8.83 and 9.52  $\text{kg}\cdot\text{day}^{-1}$ , respectively). However the SCB treatment decreased DMI (6.97  $\text{kg}\cdot\text{day}^{-1}$ ). The diet containing lower fiber level (NC) showed an intermediate result in relation to DMI. There was no difference ( $P > 0.05$ ) in intake of the NDF fraction of TMR across level and source of fiber evaluated. Treatments SH and HOCM presented smaller digesta particle size (TMP) (6.44 and 15.62 mm) ( $P > 0.05$ ) when compared to corn silage, sugarcane bagasse and sugar cane (19.1, 19.3, 19.5 mm). It was observed differences ( $P < 0.05$ ) between the evaluated treatments for the adjusted DMI or the adjusted intake of the NDF fraction. Both level and source of fiber were not effective to alter ( $P > 0.05$ ) first meal length, number of meals and the mean length period of each meal (with average of 35.8 min, 11.20 days and 18.0 min, respectively), this behaviour can be explained by differences in rate of ingestion across treatments. Differences in rumination and chewing time ( $P > 0.05$ ) between the studied treatments were observed, promoting as consequence, changes in ruminal pH. The minimum value of rumen pH, in a 24 hours period, was observed after 10 to 12 hours after the animals were fed (i.e. once a day). The consistency of the ruminal mat was influenced ( $P < 0.05$ ) by sources and level of forage. Similar values ascending speed in centimeter per second ( $P > 0.05$ ) were observed for the treatments PC (2.07 cm/s), SCB (1.34 cm/s), SC (1.33 cm/s) and HOCM (2.81 cm/s), differing ( $P < 0.05$ ), between the treatments NC (8.51 cm/s) and SH (7.73 cm/s). A strong relationship between CMS and rumen fill was observed in this study. The SCB treatment promoted large rumen fill (4 g of NDF in the rumen/kg of LBW) differing across treatments CN, PC, SH and HOCM (2, 2, 1 e 2 g of NDF in the rumen/kg of BW, respectively). The CAN treatment showed intermediate behaviour in relation to rumen fill. In conclusion, diet formulation based exclusively on chemical characteristics, such as NDF of fiber sources, might not be appropriate to maintain intake, chewing, ruminal pH and, consequently, ruminal content.

Keywords: Rumination time; Chewing time; Rumen fill; Ruminal mat; Roughage; Byproducts

## 2.1 Introdução

É possível observar grande diversidade de fontes de fibra utilizadas em confinamentos brasileiros. Ao contrário dos resultados encontrados por Vasconcelos e Galyean (2007) em que a alfafa e a silagem de milho foram as opções predominantes em confinamentos americanos, no Brasil, é possível enumerar grande variedade de fontes de fibra utilizadas em confinamentos como: cana-de-açúcar (ensilada ou *in natura*), silagem de milho, silagem de sorgo, bagaço *in natura* de cana-de-açúcar, silagem de capim, bem como várias fontes de co-produtos fibrosos (MILLEN et al., 2009).

Tem sido comum observar rações contendo fontes de volumosos sob níveis similares da fração FDN na ração total produzindo respostas divergentes quanto ao consumo de matéria seca, comportamento ingestivo e diferenças no desempenho animal (ZINN; WARE, 2007; BULLE et al., 2002; GALYEAN; DEFFOR, 2003; SHAIN et al., 1999), como resultado da diversidade de fontes de volumosos.

Nesse cenário, Mertens (1997) retratou que formulação de rações utilizando como critério apenas a fração FDN, embora tivesse auxiliado na escolha da melhor relação volumoso:concentrado não contabilizaram diferenças sutis entre fontes de fibra, que estão associadas com a cinética de digestão e passagem, refletidas, em sua maioria, por características físicas das partículas. Por sua vez, Armentano e Pereira (1997) reportaram que a análise química da fibra detergente neutro (FDN) fornece descrição apropriada da forragem e de outros alimentos. Entretanto, de acordo com esses autores, a utilização da fração FDN como única medida da fibra tem apresentado problemas para duas classes de alimentos: forragens processadas em diferentes formas físicas (tamanho de partículas) e altas concentrações de fontes de fibra não forragem (FFNF) (co-produtos) em rações para ruminantes.

Alguns autores reportaram que fontes de fibra oriundas de forragem (FFF) ou FFNF utilizadas em rações para confinamento diferem consideravelmente em sua

efetividade para estimular a atividade de mastigação e a formação do “mat” ruminal em razão de diferenças na distribuição no tamanho de partículas e da retenção ruminal de fibra (WELCH, 1982; WEIDNER, GRANT, 1994; GRANT, 1997).

Há poucos trabalhos nacionais avaliando a utilização de diferentes fontes de fibra em rações destinadas para bovinos de corte. Dessa forma, as recomendações de nutricionistas brasileiros quanto a substituição de fontes de fibra em rações para confinamento são oriundas, na maioria das vezes, de conhecimento empírico ou de dados obtidos em pesquisas internacionais gerando, por consequência, resultados práticos inesperados.

Assim, objetivou-se com este trabalho avaliar o efeito de fontes e teor de fibra no consumo voluntário, no comportamento ingestivo e nas características da digesta ruminal de bovinos de corte.

## **2.2 Desenvolvimento**

### **2.2.1 Local do experimento**

O experimento foi realizado no Departamento de Zootecnia da USP/ESALQ, em Piracicaba – SP.

### **2.2.2 Desenho experimental**

Adotou-se o delineamento em quadrado latino 6x6 para realização desse experimento.

Os tratamentos utilizados para avaliação consistiram em teor e fontes de fibra forragem ou não forragem (co-produtos) em rações para bovinos de corte, sendo:

- **Controle negativo (CN)** = inclusão de 10% da fração FDN de silagem de milho (com base na matéria seca da ração total);

- **Controle positivo (CP)** = inclusão de 20% da fração FDN de silagem de milho (com base na matéria seca da ração total);
- **Cana-de-açúcar (CAN)** = inclusão de 10% da fração FDN de cana-de-açúcar somado a inclusão de 10% da fração FDN de silagem de milho;
- **Bagaço de cana-de-açúcar *in natura* (BAG)** = inclusão de 10% da fração FDN de bagaço *in natura* de cana-de-açúcar em adição a inclusão de 10% da fração FDN de silagem de milho;
- **Casca de soja (CSOJ)** = inclusão de 10% da fração FDN de casca de soja em adição a inclusão de 10% da fração FDN de silagem de milho;
- **Torta de algodão desengordurada (TALG)** = inclusão de 10% da fração FDN de torta de algodão desengordurada em adição a inclusão de 10% da fração FDN de silagem de milho;

Com exceção do tratamento CN, todos os demais tratamentos apresentaram o mesmo teor da fração FDNf (FDN oriundo de fonte de fibra).

Foram realizados seis períodos experimentais de 19 dias cada, sendo 10 dias para adaptação às rações e nove dias de avaliação e colheita de amostras, totalizando 114 dias de experimento.

### 2.2.3 Animais utilizados e rações experimentais

Foram utilizados seis bovinos machos castrados da raça Nelore, com peso médio inicial de  $408 \pm 12$  kg, contendo cânula no saco dorsal do rúmen, alojados em gaiolas metabólicas individuais do tipo tie-stall, com 1,05 m de largura e 2,10 m de comprimento, providas de bebedouro automático, comedouro, piso emborrachado e canaleta com caixa coletora de fezes.

Foi administrada aos animais injeção subcutânea de ivermectina no início do primeiro e terceiro período, de acordo com a recomendação do fabricante. Os animais foram pesados no início e final de cada período experimental.

As rações experimentais foram formuladas com base na composição em matéria seca, utilizando o NRC (1996), visando atender à exigência de proteína degradável no rúmen e proteína metabolizável (tabela 2.1).

Tabela 2.1 – Proporções dos ingredientes das rações experimentais

Alimentos	Ração (% na MS) <sup>1,2</sup>					
	CN	CP	BAG	CAN	CSOJ	TALG
Silagem de milho	19,9	39,8	19,9	19,9	19,9	19,9
Milho moído fino	76,2	56,2	63,6	54,4	63,0	57,1
Bagaço <i>in natura</i> de cana-de-açúcar	-	-	12,3	-	-	-
Cana-de-açúcar	-	-	-	21,3	-	-
Casca de soja	-	-	-	-	13,3	-
Torta de algodão desengordurada	-	-	-	-	-	20,3
Calcário	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Núcleo mineral	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Uréia	2,1	2,2	2,4	2,5	2,0	0,85
Níveis nutricionais						
NDT	74,21	70,00	68,12	69,14	72,58	74,59
FDN	20,12	29,21	28,22	27,02	27,92	28,62
FDNF/FDNNF <sup>3</sup>	10,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
PB	13,00	13,00	13,00	13,00	13,00	13,00

<sup>1</sup> Dietas: CN = controle negativo; CP = controle positivo; BAG = bagaço de cana-de-açúcar; CAN = Cana de açúcar *in natura*; CSOJ = Casca de soja; TALG = Torta de algodão desengordurada.

<sup>2</sup> Utilizou-se 25 ppm de monensina sódica como parte do concentrado de cada tratamento experimental.

<sup>3</sup>FDNF ou FDNNF = Fibra detergente neutro oriundo de forragem (silagem de milho, bagaço *in natura* de cana-de-açúcar ou cana-de-açúcar) e fibra detergente neutro não forragem (casca de soja ou torta de algodão desengordurada)

Todas as rações experimentais foram compostas por silagem de milho como ingrediente padrão, sendo que: controle negativo (inclusão de 10% da fração FDN de silagem de milho) e controle positivo (inclusão de 20% da fração FDN de silagem de milho), os quatro tratamentos restantes continham a inclusão de 10% da fração FDN de silagem de milho em adição a inclusão de 10% da fração FDN de cada fonte de fibra a

ser testada (cana-de-açúcar *in natura*, bagaço *in natura* de cana-de-açúcar, casca de soja e torta de algodão desengordurada) (figura 2.1).

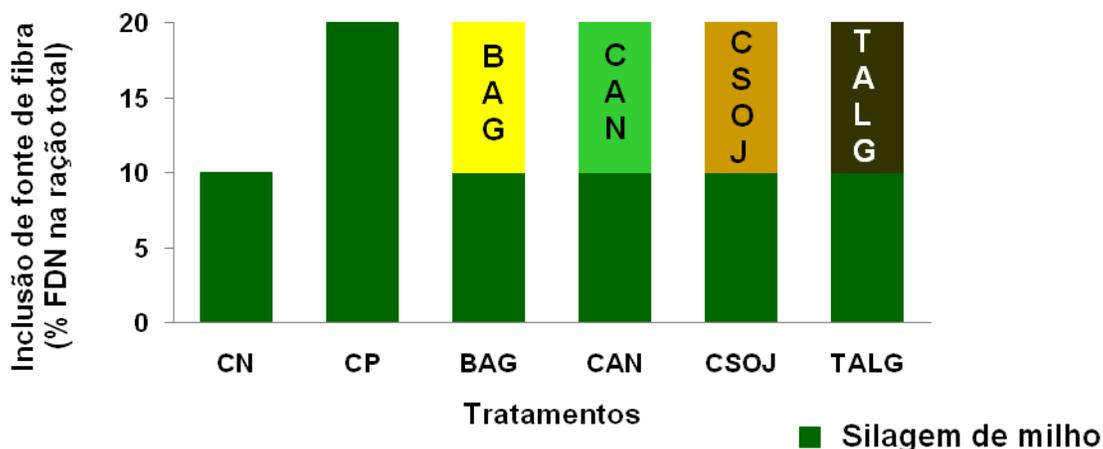


Figura 2.1 - Rações experimentais: CN = controle negativo; CP = controle positivo; BAG = bagaço *in natura* de cana-de-açúcar; CAN = cana-de-açúcar *in natura*; CSOJ = casca de soja; TALG = torta de algodão desengordurada

A composição química dos ingredientes das rações experimentais está apresentada na tabela 2.2. A mistura dos ingredientes concentrados foi realizada de forma manual, a cada dia, para cada animal/tratamento usando-se o milho grão finamente moído, uréia e núcleo mineral, além da inclusão de ionóforo (25 ppm de monensina sódica) como parte do concentrado de cada tratamento experimental.

Tabela 2.2 – Composição química dos ingredientes das rações experimentais

Variáveis	Dietas (% na MS)					
	Silagem milho	Milho moído fino	Bagaço de cana	Cana-de-açúcar	Casca soja	Torta algodão
Materia seca, %	35,56	89,85	50,40	31,04	94,48	81,22
PB, %MS	7,75	8,45	2,83	3,91	10,45	25,70
EE, %MS	3,16	3,71	0,80	1,21	1,48	10,80
FDN,%MS	57,49	11,55	74,06	43,49	69,03	51,98
FDA, %MS	36,35	3,70	62,48	30,41	55,53	35,96
Lignina, %MS	4,52	1,49	13,93	5,61	3,38	11,18
CNF, %MS <sup>1</sup>	27,07	75,01	0,65	47,29	15,62	7,80
Cinzas, %MS	4,53	1,28	3,80	4,10	3,42	3,72

<sup>1</sup> CNF - Carboidrato não fibroso = 100 – (fibra insolúvel em detergente neutro + proteína bruta + extrato etéreo + matéria mineral)

No momento do fornecimento das rações, as fontes de fibra forragem ou não forragem e os concentrados foram pesados e homogeneizados para cada animal individualmente. Os animais receberam as rações experimentais em mistura total uma vez ao dia (08:00 horas) em quantidade suficiente para permitir cerca de 5% de sobras de cocho.

A quantidade da ração fornecida diariamente, bem como as sobras em cada tratamento, foi quantificada durante todo o período experimental (19 dias), sendo que para os cálculos de consumo utilizou-se apenas o período entre o décimo primeiro dia ao décimo nono dia de avaliação de cada período.

#### 2.2.4 Colheita de dados e amostragens nos períodos de avaliação

Durante os nove dias de colheita de amostras de cada período experimental (décimo primeiro dia ao décimo nono dia de avaliação), procedeu-se rotina pré-estabelecida de avaliações, colheita de dados e amostragens, conforme descritas a seguir.

#### **2.2.4.1 Amostras de fontes de fibra, concentrados, rações totais e sobras**

Durante o período entre o décimo primeiro dia ao décimo nono dia de avaliação, pela manhã, amostra de ração da mistura total foi retirada do cocho, após a mistura manual dos ingredientes, bem como, amostra de sobras de cocho. Cada amostra coletada foi destinada à secagem em estufa de ventilação forçada a 55° C, para que fosse possível realizar os cálculos de consumo de matéria seca, como também, para estimativa da composição bromatológica de cada tratamento. Simultaneamente, amostra de cada ingrediente incluídos às rações experimentais foram coletadas uma vez a cada período, objetivando determinar a composição bromatológica e o teor de matéria seca, para que fosse possível a cada período reajustar a proporção de cada ingrediente na ração total.

#### **2.2.4.2 Comportamento ingestivo**

No primeiro dia de colheita de dados, décimo primeiro dia de cada período experimental, foi realizada observação do comportamento ingestivo dos animais, por vinte quatro horas, por meio de observação visual. As atividades tiveram início imediatamente após o fornecimento da alimentação da manhã (08:00 horas).

Os parâmetros avaliados em intervalos fixos de cinco minutos foram: ingestão de alimento, ingestão de água, ruminação ou ócio (MAEKAWA; BEAUCHEMIN; CHRISTENSEN, 2002).

Durante o período noturno as observações foram realizadas mediante iluminação indireta com auxílio de refletores posicionados atrás dos animais. Atividades de limpeza das instalações foram evitadas durante esse período no intuito de inibir qualquer modificação comportamental dos animais.

Os cálculos das atividades comportamentais foram efetuados em minutos por dia, assumindo que nos cinco minutos seguintes a cada observação o animal permaneceu na mesma atividade. O tempo total de mastigação foi determinado

somando-se o tempo de ingestão de alimento e o tempo de ruminação (MAEKAWA; BEAUCHEMIN; CHRISTENSEN, 2002; KONONOFF, HEIRINCHS, LEHMAN, 2003).

Usando-se os valores de ingestão (kg de MS, kg da fração FDN e kg da fração FDN oriundo da fonte de fibra) verificados no dia da realização de cada avaliação do comportamento ingestivo, para cada animal, foram calculados os respectivos tempos relativos de ingestão, ruminação e mastigação em minutos por kg de MS, minutos por kg da fração FDN e minutos por kg da fração FDN oriundo da fonte de fibra (MAEKAWA; BEAUCHEMIN; CHRISTENSEN, 2002).

Refeições foram definidas como a somatória das atividades de consumo tomadas de cinco em cinco minutos para cada animal para cada tratamento. Para o cálculo da primeira refeição utilizou-se como início da contagem o momento que se ofereceu a ração total para cada animal (oito horas da manhã) e o término da contagem de tempo teve como critério a parada de consumo do animal por período de cinco minutos.

Utilizando os dados de comportamento ingestivo dos animais durante vinte quatro horas de avaliação, foi possível calcular o padrão diário da atividade de ruminação e mastigação em porcentagem por hora de bovinos alimentados com as fontes de fibra estudadas.

#### **2.2.4.3 Análises bromatológicas**

As amostras compostas das rações totais, fontes de fibra, concentrados e sobras, após serem secas em estufa (SILVA, 1981), foram moídas em peneira de 1 mm de porosidade em moinho tipo Wiley, e armazenadas em sacos plásticos para determinações bromatológicas. As análises convencionais realizadas foram MS, cinzas e extrato etéreo (AOAC, 1995). O teor de PB foi obtido mediante combustão das amostras segundo método Dunas, usando-se um auto-analisador de nitrogênio marca LECO<sup>®</sup>, MODELO FP-528 (WILES, GRAY; KISSLING, 1998).

Os teores da fibra insolúvel em detergente neutro (FDN), fibra insolúvel em detergente ácido (FDA) e lignina foram determinadas seqüencialmente de acordo com método proposto por Van Soest; Robertson; Lewis (1991). Na determinação da fração

FDN foram incluídos o sulfito de sódio e a amilase termoestável (Termamyl 120 L) e na determinação de lignina foi utilizada solução de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 72%.

Amostras de fezes após secas em estufa (SILVA, 1981) foram moídas em peneira de 1 mm de porosidade em moinho tipo Wiley e usadas para determinação de MS, MM, FDN e FDA, como descrito anteriormente.

#### **2.2.4.4 Tamanho médio de partículas**

Amostras das diferentes fontes de fibra avaliadas, bem como das rações experimentais, foram coletadas durante o comportamento ingestivo de cada período experimental (décimo primeiro dia de avaliação).

O tamanho médio de partículas (TMP) foi calculado com base na metodologia da estratificação em peneiras conforme descrito pelo método *Penn State Particle Size Separator* (LAMMERS; BUCKMASTER; HEINRICH, 1996) e adaptado por Mari e Nussio (2002). O método adaptado consiste de três peneiras, com diâmetros de 38, 19,0 e 8,0 mm de porosidade e uma caixa de fundo. Cada amostra era estratificada por meio de agitações sistematizadas e o TMP foi determinado mediante cálculo ponderal da massa retida e do tamanho médio das partículas em cada peneira. Para isso, o comprimento médio das partículas retidas na peneira superior, em centímetros, foi determinado.

#### **2.2.4.5 Consistência do “mat” ruminal**

A consistência do “mat” ruminal foi avaliada 4 horas após o fornecimento da ração total (12:00 horas), conforme método preconizado por Welch (1982). Um peso de metal de 500 g amarrado a um cordão de náilon, deslizando entre roldanas fixadas nas extremidades de uma haste de metal graduada foi inserido no saco ventral do rúmen, por meio da cânula e atravessando a camada flutuante da digesta duas horas antes da medição. Após o período de estabilização da camada flutuante do rúmen (aproximadamente duas horas), a extremidade externa do cordão de náilon foi fixada a

um peso de metal de 1500 g, sendo computado o tempo de ascendência (minutos e segundos) do peso interno contendo 500 g até o ponto superior da camada flutuante e o deslocamento vertical (cm) do peso externo. As taxas de ascensão do peso interno (cm/min) foram calculadas dividindo-se o deslocamento do peso externo (centímetros) pelo tempo total (minutos) que o peso interno levou para atingir o ponto superior da camada flutuante das partículas.

#### 2.2.4.6 Cálculo de Repleção ruminal

Para o cálculo de repleção ruminal (ER), em gramas da fração FDN no rúmen por quilo de massa corporal, utilizou-se a equação sugerida por Vieira; Tedeschi; Cannas, (2008).

$$\sum_j \left\{ F_{FDNj} \left[ A_j \left\{ V \sum_{i=1}^{Nj} \left[ \frac{\lambda_{rj}^{i-1}}{(\lambda_{rj} + k_{dj})^i} \right] + \frac{\lambda_{rj}^{Nj}}{[(\lambda_{rj} + k_{dj})^{Nj} (k_{ej} + k_{dj})]} \right\} + U_j \left( \frac{N_j}{\lambda_{rj}} + \frac{1}{K_{ej}} \right) \right] \right\} \quad (1)$$

Em que:

$F_{FDN}$  = Consumo de FDN em quilos;

$A_j$  = fração potencialmente digestível da matéria seca disponível para ser digerido pelos microrganismos ruminais

$\lambda_r$  ( $h^{-1}$ ) = representa taxa de partículas escapáveis do total de partículas (processadas) escapáveis do rúmen retículo;

$k_e$  ( $h^{-1}$ ) = representa a taxa de passagem no compartimento com probabilidade de escape de partículas exponencialmente distribuída;

$K_d$  = taxa de degradação da fração A;

$U$  = fração indigestível da matéria seca;

$N$  = representa a ordem tempo dependente para transferir a partícula do *raft* para o total de partículas escapáveis (ordem de dependência da função gama).

#### 2.2.4.7 Análise estatística

A análise estatística foi realizada para delineamento experimental em quadrado latino 6 x 6 utilizando o procedimento MIXED do SAS (SAS, 2001) incluindo no modelo, efeitos de tratamento, período e animal.

Modelo estatístico:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + P_j + T_k + e_{ijk}$$

em que:

$\mu$  = média geral;

$A_i$  = efeito de animal ( $i = 1$  a  $7$ );

$P_j$  = efeito de período ( $j = 1$  a  $7$ );

$T_k$  = efeito de tratamento ( $k = 1$  a  $7$ );

$E_{ijk}$  = resíduo aleatório.

Para comparação das médias de consumo, comportamento ingestivo, conteúdo ruminal, consistência do “mat” ruminal, repleção ruminal e digestibilidade dos nutrientes foi utilizada a Média dos Quadrados Mínimos, mediante procedimento MIXED do SAS, considerando que os efeitos de período e animais são aleatórios, o que compõe um modelo misto. Da mesma forma, o pH ruminal teve suas médias comparadas pelo procedimento MIXED, como avaliações repetidas no tempo.

Para rejeição ou aceitação no teste de hipóteses, foi utilizado nível de probabilidade de 5% ( $P < 0,05$ ).

Utilização e cuidados adotados com os animais estavam em conformidade com a legislação pertinente quanto aos princípios éticos na experimentação com animais, conforme parecer da Comissão de Ética da instituição em que foi realizada a pesquisa.

## 2.3 Resultados e Discussão

### 2.3.1 Período pré-experimental

Sabendo que as rações experimentais continham teores relativamente baixos em fibra, 10 a 20% de FDN de fibra (FDNf) na ração total (RT), vinte um dias antes do início do experimento conduziu-se pré-ensaio cujo objetivo foi adaptar os animais às novas rações. Durante este período, realizou-se a substituição gradual na dose de inclusão de ingredientes volumosos e concentrados acompanhada do monitoramento diário do pH ruminal e consumo voluntário de matéria seca (CMS) pelos animais experimentais. Substituições realizadas em períodos de sete dias seguiram as proporções decrescentes de 80%, 60% e 40% de volumoso (silagem de milho) na RT (tabela 2.3).

Neste pré-ensaio foram utilizados sete animais da raça Nelore, castrados, com cânula ruminal no saco dorsal e peso médio de  $386 \pm 21$  kg.

Tabela 2.3 – Proporções dos ingredientes e níveis nutricionais das rações experimentais

ingredientes	Dietas (% na MS)		
	80%	60%	40%
Silagem de milho	80,03	60,00	40,36
Milho moído fino	12,86	34,31	55,60
Farelo de soja	3,12	1,90	-----
Calcário	0,80	0,80	0,80
Núcleo Mineral	0,95	1,00	1,07
Uréia	1,93	2,00	2,18
Níveis nutricionais			
NDT, %	61,25	65,67	70,00
FDN, %	48,20	38,73	29,62
PB, %	13,00	13,02	12,94

Análises de pH ruminal foram realizadas diariamente às 8 e 10 horas após a alimentação (alimentação realizada às oito horas da manhã) (figura 2.2), e também, ao longo de vinte e quatro horas obtidas de duas em duas horas foram realizadas ao final de cada período de sete dias de adaptação, imediatamente antes do momento em que se reduzia a proporção de volumoso na ração) (figura 2.3).

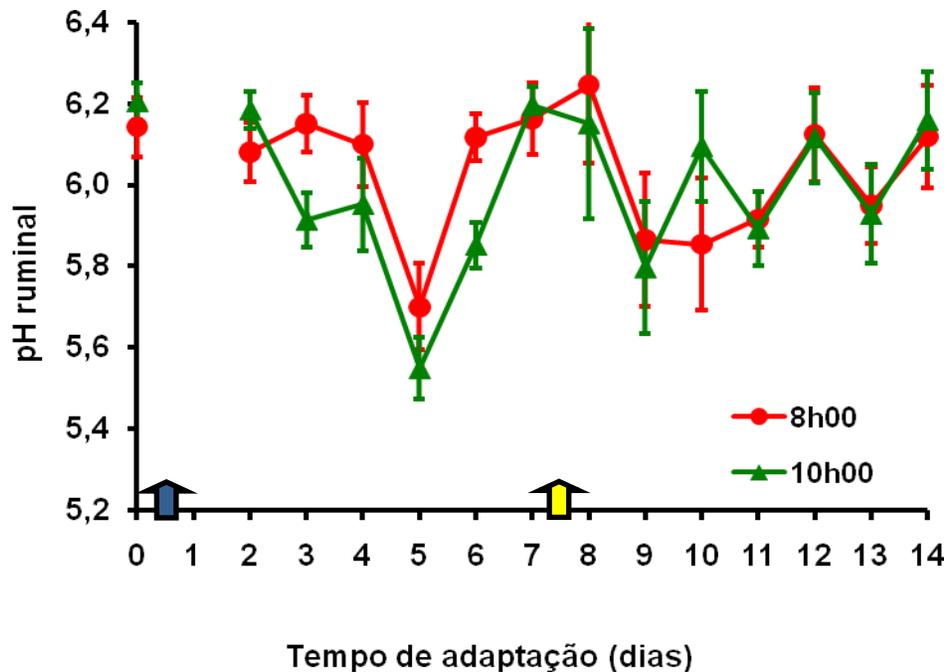


Figura 2.2 - Efeito do pH ruminal de bovinos Nelore 8 e 10 horas após a alimentação, ao longo do período de adaptação com teores decrescentes de volumoso. As setas indicam o momento da substituição da ração. Seta azul: transição de 80% para 60% de volumoso. Seta amarela: transição de 60% para 40% de volumoso. Dados oriundos de sete bovinos da raça Nelore com cânula no saco dorsal do rúmen

Por se tratar apenas de período de adaptação dos animais e mesmo não havendo análise estatística dos dados, observou-se que durante os vinte um dias de avaliação, animais apresentaram comportamentos semelhantes quanto ao pH ruminal nas diferentes rações (80%, 60% e 40% de volumoso na ração total) (figuras 2.2 e 2.3). Também, foi possível observar valores similares quanto ao CMS nas diferentes fases de adaptação, 80%, 60% e 40% de volumoso na ração total (médias de 7,57, 7,81 e 7,74 kg de MS/dia respectivamente) (Figura 2.4).

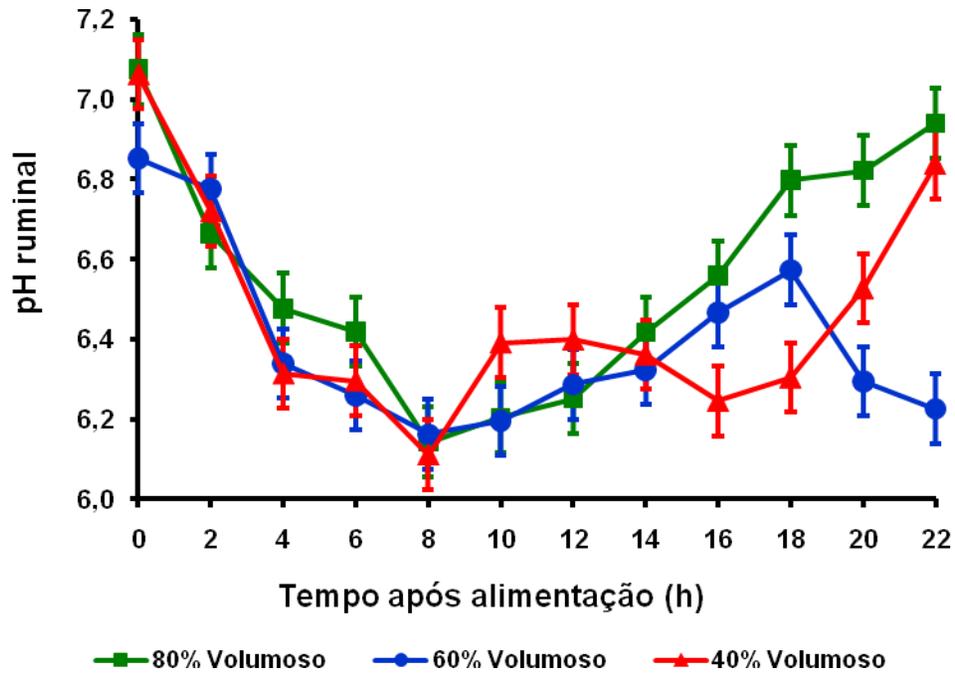


Figura 2.3 - Efeito do pH ruminal como função do tempo pós alimentação de rações contendo diferentes proporções de volumosos (80%, 60% e 40% de volumoso na ração total). Dados oriundos de sete bovinos da raça Nelore com cânula no saco dorsal do rúmen

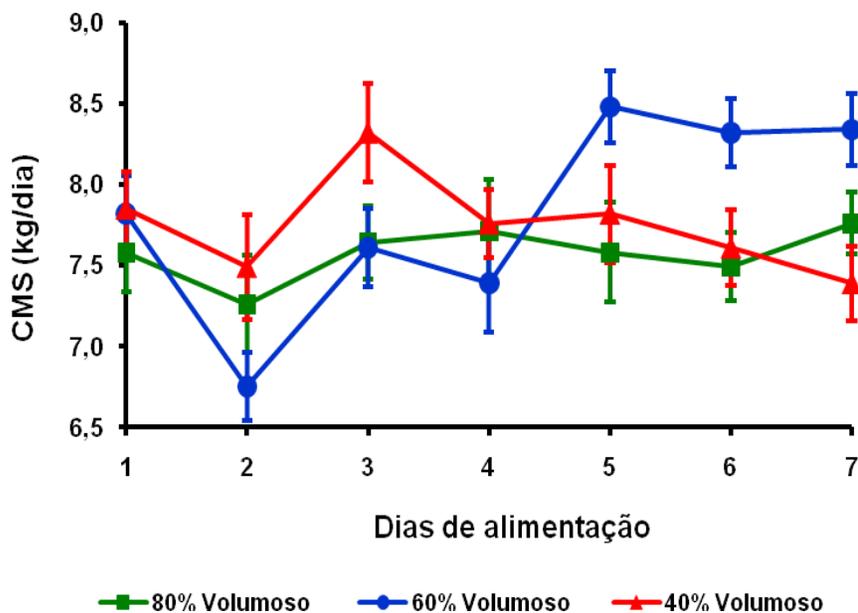


Figura 2.4 – Curvas de consumo de matéria seca apresentado por bovinos recebendo rações contendo diferentes proporções de volumosos (80%, 60% e 40% de volumoso na ração total). Dados oriundos de sete bovinos da raça Nelore com cânula no saco dorsal do rúmen

De acordo com as figura 2.2, 2.3 e 2.4 pode-se reiterar que ruminantes suportam rações com maiores teores de concentrado na matéria seca da RT (60%) desde que tenham tempo para se adaptarem. Dessa forma, ao final do vigésimo primeiro dia do período pré-experimental, foi possível realizar a substituição imediata da ração pré-experimental (tabela 2.3) para as rações experimentais (tabela 2.2) contendo proporções semelhantes em FDN forragem (aproximadamente 20% de FDN na MS da ração total), mas com diferentes fontes de fibra, exceção somente para o tratamento CN contendo apenas 10% de FDN de silagem de milho na RT.

### 2.3.2 Consumo

Na figura 2.5 estão representadas graficamente as curvas do consumo médio de matéria seca em quilos por dia durante os dezenove dias de período experimental, divididos em 10 dias de adaptação e nove dias de coleta dos dados.

Durante os primeiros dez dias de adaptação às novas rações, houve expressiva variação e lenta elevação no CMS de bovinos recebendo rações contendo fontes e teor de fibra (figura 2.5). Entretanto, após o décimo primeiro dia (período em que se iniciou a coleta dos dados) o CMS apresentou-se homogêneo, sugerindo condição regular de consumo para cada animal dentro de cada tratamento. Esse comportamento sugere que mesmo substituindo fontes de fibra contendo teores idênticos da fração FDNf (% na RT) (exceção apenas ao tratamento CN que continha apenas 10% de FDNf na RT) torna-se necessário aproximadamente 10 dias para que o CMS se estabilize. Vale lembrar também, que esta comparação só foi possível, visto que estes animais foram adaptados previamente (período pré-experimental) a uma ração contendo silagem de milho como única fonte de forragem e mesmo teor de FDNf (20% na RT).

Em comparação ao tratamento contendo 20% da fração FDN de silagem de milho na RT (CP), a substituição de 10% desta mesma fonte (silagem de milho) por cana-de-açúcar, casca de soja ou torta de algodão desengordurada provocou resultados semelhantes ( $P>0,05$ ) no CMS para estes tratamentos (9,20, 8,60, 8,83 e 9,52  $\text{kg}\cdot\text{dia}^{-1}$ , respectivamente). Por outro lado, ao substituir 10% da fração FDN de silagem de milho por bagaço *in natura* de cana-de-açúcar observou-se depressão no CMS (6,97  $\text{kg}\cdot\text{dia}^{-1}$ ) em comparação aos demais tratamentos contendo a mesma proporção da fração FDN de fibra (tratamentos CP, CAN, CSOJ, TALG).

Avaliando o CMS em porcentagem do peso vivo, mesmo padrão de resposta foi observado em relação ao CMS em  $\text{kg}\cdot\text{dia}^{-1}$ . Comparado ao tratamento CP, rações contendo inclusão de cana-de-açúcar, casca de soja ou torta de algodão desengordurada não se observou diferença ( $P>0,05$ ) no CMS em porcentagem do peso vivo (2,10, 1,94, 2,00, e 2,20 % do PV, respectivamente). Contudo, menor CMS em porcentagem do peso vivo foi observado no tratamento BAG (1,60) em comparação aos demais tratamentos CP, CAN, CSOJ e TALG.

Importante observar que rações contendo apenas 10% de FDN de silagem de milho e maior proporção de concentrado (tratamento CN) apresentaram resultados de CMS semelhantes (tanto em  $\text{kg}\cdot\text{dia}^{-1}$ , quanto em % do PV) ao tratamento BAG. Este comportamento sugere que a redução do CMS referente ao tratamento CN foi devido ao efeito quimiostático, em virtude do baixo valor de repleção ruminal (figura 2.10), do menor tempo de mastigação (min/dia) (tabela 2.5), bem como, do baixo valor de pH ruminal medido 12 horas após a oferta de alimento (figura 2.9). Já no tratamento BAG com a inclusão de 10% de bagaço *in natura* de cana-de-açúcar a redução no CMS se deu por efeito de repleção ruminal (figura 2.10), refletindo em maior tempo de mastigação (min/dia) (tabela 2.5) e maior valor de pH ruminal medido também às 12 horas após a oferta de alimento (figura 2.9).

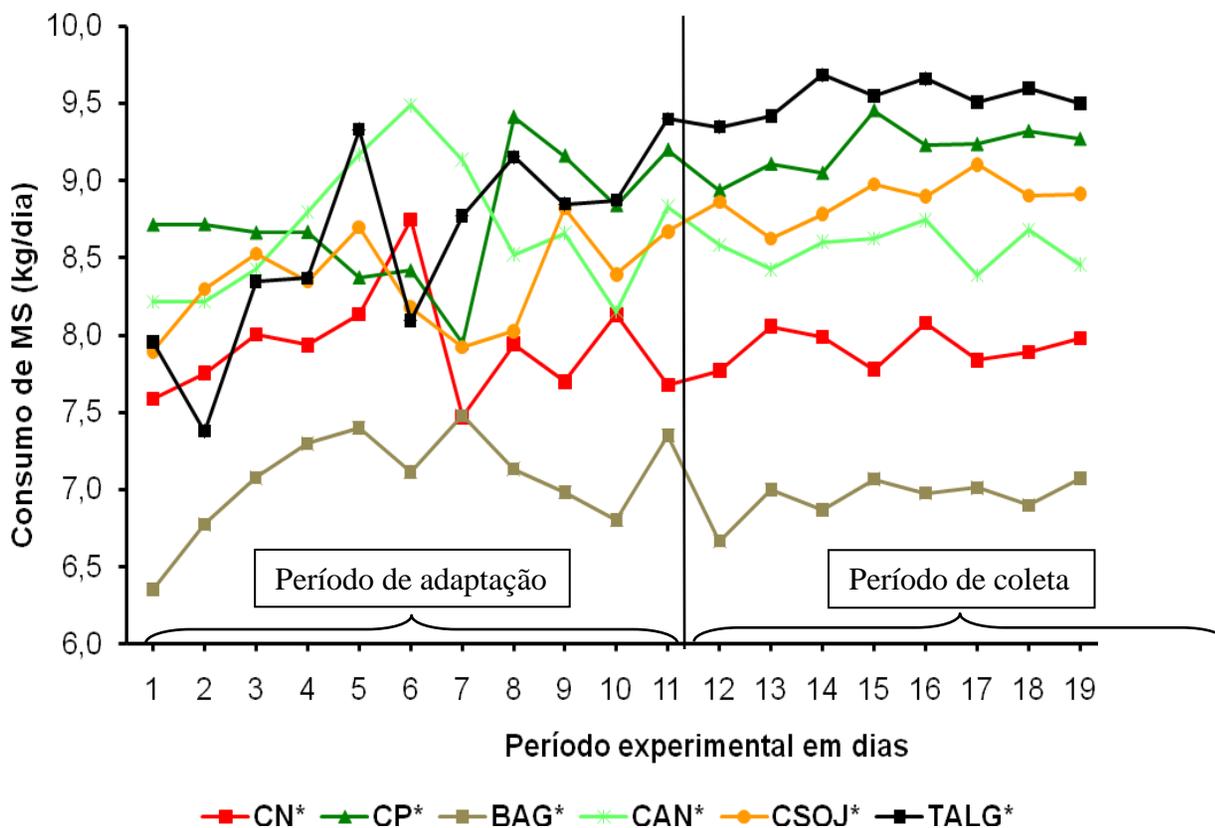


Figura 2.5 – Evolução do consumo voluntário de matéria seca durante os dezenove dias de período experimental

\*CN = Controle negativo (10% de FDN de silagem de milho - % MS); CP = Controle positivo (20% de FDN de silagem de milho - % MS); BAG = Bagaço *in natura* de cana-de-açúcar (10% de FDN de BAG e 10% de FDN de silagem de milho - % MS); CAN = Cana-de-açúcar *in natura* (10% de FDN de CAN e 10% de FDN de silagem de milho - % MS); CSOJ = Casca de soja (10% de FDN de CSOJ e 10% de FDN de silagem de milho - % MS); TALG = Torta de algodão desengordurada (10% de FDN de TALG e 10% de FDN de silagem de milho - % MS)

Alguns trabalhos na literatura relatam o efeito da fonte e nível de fibra quanto a influência no CMS e, conseqüentemente, no desempenho animal (SHAIN et al., 1999; THEURER et al., 1999; DEFOOR et al., 2002; HENRIQUE et al., 2007; BHATTI et al., 2008).

Theurer et al. (1999) avaliaram diferentes fontes de fibra em rações para bovinos em terminação contendo feno de alfafa, caroço de algodão ou palha de trigo. Todas as

três rações continham concentração base de 6% de feno de alfafa e foram formuladas para suprir percentagens iguais de FDNf, sendo que cada ração recebeu inclusão adicional de 6% de feno de alfafa (tratamento Alf), 2,8% de caroço de algodão (tratamento CA) e 3,7% de palha de trigo (tratamento PT). Estes autores concluíram que animais recebendo os tratamentos CA e PT apresentaram maior CMS quando comparado com rações contendo apenas feno de alfafa, mesmo havendo concentrações semelhantes da fração FDNf na ração total.

Henrique et al. (2007) compararam os efeitos do fornecimento da silagem de milho ou bagaço *in natura* de cana-de-açúcar no desempenho de tourinhos Santa Gertrudes durante 142 dias de confinamento. Neste trabalho as rações foram formuladas para conter a mesma proporção de FDNf (20 e 12% de inclusão de silagem de milho e bagaço *in natura* de cana-de-açúcar respectivamente). Maior CMS foi observado (8,19 kg.dia<sup>-1</sup>) em rações contendo silagem de milho quando comparadas com rações contendo a inclusão de bagaço *in natura* de cana-de-açúcar (7.82 kg.dia<sup>-1</sup>). Estes resultados apresentados por Henrique et al. (2007) estão em concordância com os encontrados no presente trabalho, evidenciando que a substituição de silagem de milho por bagaço *in natura* de cana-de-açúcar incluídas na mesma proporção da fração FDN promove uma depressão no CMS.

Galyean e Deffor (2003) reportaram que o CMS de bovinos de corte recebendo rações contendo altas proporções de concentrado (zero a 12% de FDNf na RT) é controlado primariamente por efeito quimiostático e não por limitação causada pelo efeito de repleção ruminal. Todavia, estes autores relataram que a razão pela qual o CMS é alterado quando fontes de fibra são substituídas em rações contendo alta proporção de grãos não são completamente compreendidos. Efeitos de diluição de energia causados pela presença de fibra dietética em rações podem ser responsáveis pela alteração no CMS (GALYEAN; DEFFOR, 2003), contudo, a quantidade de energia líquida destinada para ganho (EL<sub>g</sub>) provida pela forragem demonstra pouca relação para mudanças no CMS quando fontes e níveis de forragens são alteradas (DEFFOR et al., 2002). Por outro lado, quando maiores proporções de fibra são incluídas (aproximadamente 20% de FDNf na RT) ou quando há inclusões de fontes de fibra não forragem (co-produtos) em ração para bovinos confinados a participação da EL<sub>g</sub>

oriunda da forragem apresenta-se relevante quanto ao consumo de matéria seca e/ou consumo de energia e, sobretudo, no desempenho animal (NRC, 1996).

Tabela 2.4 – Influência da fonte e nível de fibra no consumo voluntário apresentado por bovinos

Variável <sup>2</sup>	Fontes de fibra <sup>1</sup>						EPM
	CN	CP	BAG	CAN	CSOJ	TALG	
Consumo							
Matéria seca, kg.dia <sup>-1</sup>	7,93 <sup>bc</sup>	9,20 <sup>a</sup>	6,97 <sup>c</sup>	8,60 <sup>ab</sup>	8,83 <sup>ab</sup>	9,52 <sup>a</sup>	0,32
MS, % do PV	1,82 <sup>bc</sup>	2,10 <sup>a</sup>	1,60 <sup>c</sup>	1,94 <sup>ab</sup>	2,00 <sup>ab</sup>	2,20 <sup>a</sup>	0,10
FDN, kg.dia <sup>-1</sup>	1,95	2,04	1,94	2,22	2,41	2,47	0,14
FDN, % PV <sup>-1</sup>	0,32 <sup>b</sup>	0,53 <sup>a</sup>	0,38 <sup>b</sup>	0,50 <sup>a</sup>	0,55 <sup>a</sup>	0,56 <sup>a</sup>	0,02
FDNf, kg.dia <sup>-1</sup>	0,80 <sup>c</sup>	1,84 <sup>a</sup>	1,26 <sup>b</sup>	1,71 <sup>a</sup>	1,76 <sup>a</sup>	1,90 <sup>a</sup>	0,06
Consumo ajustado							
MSTMP, kg.dia <sup>-1</sup>	5,01 <sup>d</sup>	12,41 <sup>a</sup>	8,54 <sup>bc</sup>	11,63 <sup>a</sup>	6,80 <sup>cd</sup>	9,34 <sup>b</sup>	0,61
FDNfTMP, kg.dia <sup>-1</sup>	1,52 <sup>c</sup>	3,55 <sup>a</sup>	2,65 <sup>b</sup>	3,35 <sup>a</sup>	1,14 <sup>c</sup>	2,98 <sup>ab</sup>	0,16

<sup>1</sup>CN = Controle negativo (10% de FDN de silagem de milho - % MS); CP = Controle positivo (20% de FDN de silagem de milho - % MS); BAG = Bagaço de cana-de-açúcar *in natura* (10% de FDN de BAG e 10% de FDN de silagem de milho - % MS); CAN = Cana-de-açúcar *in natura* (10% de FDN de CAN e 10% de FDN de silagem de milho - % MS); CSOJ = Casca de soja (10% de FDN de CSOJ e 10% de FDN de silagem de milho - % MS); TALG = Torta de algodão desengordurada (10% de FDN de TALG e 10% de FDN de silagem de milho - % MS)

<sup>2</sup>FDN, kg.dia<sup>-1</sup> = fração fibra detergente neutro; FDNf = fração fibra detergente neutro de fibra; % do PV = porcentagem do peso vivo; FDN/% PV = fração fibra detergente neutro em relação a porcentagem do peso vivo; MSTMP = consumo ajustado de matéria seca em relação ao tamanho médio da partícula da ração total; FDNfTMP = consumo ajustado da fração fibra detergente neutro oriundo de fibra multiplicado pelo tamanho médio da partícula da fibra forragem ou não forragem

<sup>ab</sup> Letras distintas na mesma linha indicam diferença estatística pelo teste LSMeans ao nível de 5%.

Owens (2008b) reportou que variações no CMS e cinética ruminal são explicadas não somente por diferenças na composição química (celulose, hemicelulose e lignina) da fibra, mas também, por mudanças nas características físicas como o tamanho de partículas, a densidade e a capacidade de hidratação das mesmas, evidenciando que medidas químicas (fração FDN) isoladamente não são capazes de explicar tais variações quando substituições de fontes de fibra são realizadas (ARMENTANO;

PEREIRA, 1997; MERTENS, 1997; ZINN; WARE, 2007; OWENS, 2008b). Nesse cenário, diferenças químicas e físicas entre fontes de fibra forragem ou não forragem (co-produtos) poderiam ser justificadas por haver alterações na taxa de produção de ácidos graxos de cadeia curta (AGCC) (ALLEN, 1997), por consequência de mudanças no comportamento ingestivo (tempo de ingestão e ruminação) (WELCH; SMITH, 1969; PARSONS et al., 2007), produção de saliva (MAEKAWA; BEAUCHEMIN; CHRISTENSEN, 2002), cinética ruminal (WELCH, 1982; PRIGGE et al., 1993; VIEIRA; FERNANDES, 2006; BHATTI et al., 2008), além de alterações do local e extensão de digestão.

Mesmo havendo menor inclusão de FDN de silagem de milho no tratamento CN (10% de FDN na RT) em comparação aos demais tratamentos contendo 20% de FDN na RT, não houve diferença ( $P > 0,05$ ) no consumo de FDN entre os mesmos (tabela 2.4). Por outro lado, ao avaliar o consumo de FDN em porcentagem do peso vivo, animais recebendo o tratamento CN e BAG apresentaram menores valores ( $P < 0,05$ ) quando comparado com os demais tratamentos experimentais (CP, CAN, CSOJ e TALG).

Animais recebendo ração contendo 10% de inclusão de bagaço *in natura* de cana-de-açúcar (tratamento BAG) apresentaram menor consumo de FDN oriundo de fibra quando comparado com rações contendo o mesmo teor da fração FDN na RT (CP, CAN, CSOJ e TALG). Esse resultado sugere que o bagaço *in natura* de cana-de-açúcar, mesmo incluído em pequenas quantidades na RT é alimento bastante efetivo em suprir as exigências mínimas em fibra para bovinos, sendo essa suposição confirmada pelo maior tempo de mastigação em minutos por quilo de matéria seca ou em minutos por quilo de FDN quando comparado com os demais tratamentos (tabela 2.5), além de favorecer maior valor de pH ruminal (figura 2.9). Tal comportamento está em concordância com o elevado valor de repleção ruminal (4g de FDN no rúmen/kg de massa corporal) apresentado na figura 2.10 para o tratamento BAG, como também, o menor valor de taxa de passagem no rúmen retículo do bagaço *in natura* de cana-de-açúcar (2%/h) (tabela 4.8, capítulo 4).

Como esperado, menor consumo FDN oriundo de fibra foi observado nos animais recebendo o tratamento CN, em virtude da baixa inclusão de FDNf (10% de

silagem de milho na MS da RT). Como consequência, menores valores de pH ruminal (medido 12 horas após a oferta de alimento) foram encontrados para o tratamento CN (figura 2.9).

Considerando que variações no CMS e no comportamento ingestivo são explicadas não somente por diferenças na composição química da fibra, mas também, por mudanças nas características físicas como o tamanho de partículas, Santini; Hardie; Jorgensen (1983) criaram o conceito de consumo ajustado tendo como base o tamanho de partícula da forragem. De acordo com estes autores, ao comparar diferentes fontes de fibra contendo tamanho médio de partículas também diferentes o consumo ajustado para forragem teria íntima relação com o tempo de mastigação total, possibilitando assim seu uso como cálculo do índice de forragem. Dessa forma, o CMS de forragem (quilos) foi multiplicado pelo tamanho médio das partículas da forragem (centímetro) para obter o consumo ajustado em kg x cm.

No presente trabalho, cálculos também foram realizados utilizando o CMS multiplicado pelo tamanho médio das partículas das diferentes rações experimentais (tabela 2.4 e 2.9), como também, foram efetuados cálculos envolvendo o consumo da fração fibra detergente neutro oriundo da fibra multiplicado pelo tamanho médio das partículas da fibra forragem ou não forragem (tabela 2.4 e 2.8).

O CAMSTMP (consumo ajustado de matéria seca em relação ao tamanho médio da partícula da ração total) foi semelhante ( $P > 0,05$ ) entre os tratamentos CP e CAN e superior ( $P < 0,05$ ) aos tratamentos CN, BAG, CSOJ e TALG. Ao analisar o consumo ajustado de FDN de forragem (CAFDNfTMP), animais recebendo os tratamentos CP e CAN apresentaram maiores valores ( $P < 0,05$ ) quando comparado com os tratamentos BAG e TALG. Os animais consumindo tratamento CN e CSOJ apresentaram os menores valores quanto o consumo ajustado de forragem (tabela 2.4).

Como demonstrado por Santini; Hardie; Jorgensen (1983), valores de consumo de forragem ajustado encontrados no presente trabalho estiveram relacionados com o tempo de mastigação, demonstrando que com o aumento do consumo de forragem ajustada para tamanho de partículas ocorre diminuição do tempo de mastigação (Figura 2.6).

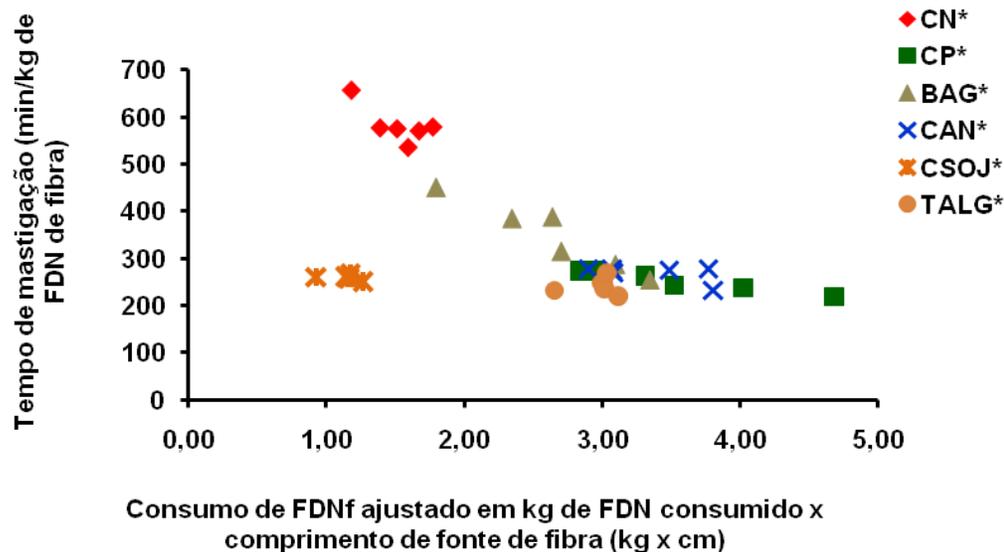


Figura 2.6 – Relação entre tempo de mastigação (min/kg de FDN de fibra) e consumo ajustado da fração fibra detergente neutro oriundo de fibra (FDN consumido x comprimento de fonte de fibra)

\*CN = Controle negativo (10% de FDN de silagem de milho - % MS); CP = Controle positivo (20% de FDN de silagem de milho - % MS); BAG = Bagaço de cana-de-açúcar *in natura* (10% de FDN de BAG e 10% de FDN de silagem de milho - % MS); CAN = Cana-de-açúcar *in natura* (10% de FDN de CAN e 10% de FDN de silagem de milho - % MS); CSOJ = Casca de soja (10% de FDN de CSOJ e 10% de FDN de silagem de milho - % MS); TALG = Torta de algodão desengordurada (10% de FDN de TALG e 10% de FDN de silagem de milho - % MS)

### 2.3.3 Comportamento ingestivo

Animais consumindo ração contendo 10% de FDNF de torta de algodão desengordurada apresentaram maior taxa de ingestão (3,11 kg de MS/hora) ( $p > 0,05$ ) quando comparado com rações contendo 10% de FDNF de bagaço *in natura* de cana-de-açúcar (2,31 kg de MS/hora). Por outro lado, valores intermediários foram observados para os tratamentos CN, CP, CAN e CSOJ (2,45, 2,55, 2,97 e 2,91 kg de MS/hora, respectivamente) (tabela 2.5).

De acordo com Allen (2000) ao aumentar a quantidade de amido em rações para bovinos é possível observar diminuição significativa no CMS. Consumo de alimento é

função do tamanho e frequência da refeição, sendo determinada pelo efeito de saciedade e fome, respectivamente. Padrões de refeição são provavelmente influenciados pela digestão do amido ruminal, ou efeito de repleção ruminal (TAYLOR; ALLEN, 2005; VAN SOEST, 1994). Rações contendo altas proporções de grão promovem diminuição do CMS pela diminuição do tamanho da refeição (OBA; ALLEN, 2003), aumentando, entretanto o número de refeições durante vinte quatro horas (KRAUSE et al., 2003).

A ração contendo apenas 10% de FDN de silagem de milho (tratamento CN) apresentou comportamento ingestivo semelhante ao mencionado, ou seja, em comparação ao tratamento CP (20% de FDN de silagem de milho) houve expressiva depressão no CMS (7,93 e 9,2 kg por dia, respectivamente) (tabela 2.4) em virtude da maior quantidade de amido no tratamento CN. Entretanto, ao avaliar o tamanho da refeição (taxa de ingestão em quilo de MS por hora, tabela 2.5) bovinos recebendo tratamento CN apresentaram resultados semelhantes aos que receberam tratamento CP, concluindo que 10% de silagem de milho na RT em rações para bovinos de corte supriram as exigências mínimas em fibra, afirmativa essa confirmada pelo valor médio de pH ruminal (figura 2.9).

Rações contendo diferentes fontes ou diferente teor de fibra apresentaram resultados semelhantes ( $P>0,05$ ) quanto a ingestão em minutos por dia e minutos por kg de matéria seca. Porém, quando expresso por unidade da fração FDN consumida, maior tempo de ingestão (141 min/kg da fração FDN) foi observado em rações contendo apenas 10% de silagem de milho (% na MS) ( $P>0,05$ ) quando comparado com os tratamentos CAN, CSOJ e TALG (79,7, 81,2 e 76,6 min/kg de FDN, respectivamente). Resultados similares foram observados para os tratamentos CN, CP e BAG (141,0, 95,2 e 112,1 min/kg de FDN, respectivamente) (tabela 2.5), sendo esse fato justificado pela ingestão semelhante da fração FDN diária, conforme apresentado na tabela 2.4.

Maior tempo de ingestão em minutos por quilo de FDNf foi observado para o tratamento CN(253,3), diferindo ( $p<0,05$ ) da ração contendo inclusão de 10% de bagaço de cana-de-açúcar *in natura* que apresentou menor tempo de ingestão (109,4

min/kg de FDNF) (tabela 2.5). Foram observados valores inferiores para os tratamentos CP, CAN, CSOJ e TALG que não diferiram ( $P>0,05$ ) entre si.

De acordo com Welch (1971), tempo de mastigação e ruminação são consideradas medidas acuradas quanto às características de determinada forragem em rações para ruminantes.

Os tempos de ruminação e mastigação em minutos por dia comportaram-se de modo semelhante entre todos os tratamentos avaliados. Animais consumindo as rações CP e aquelas contendo inclusão de 10% de FDNf de cana-de-açúcar ou bagaço *in natura* de cana-de-açúcar apresentaram maiores tempos de ruminação e mastigação em minutos por dia. Por outro lado, resultado intermediário foi observado para o tratamento TALG (tabela 2.5).

Tabela 2.5 – Influência da fonte de fibra no comportamento ingestivo de bovinos

Variável	Fontes de fibra <sup>1</sup>						EPM
	CN	CP	BAG	CAN	CSOJ	TALG	
Taxa de ingestão kg de MS/hora	2,45 <sup>ab</sup>	2,55 <sup>ab</sup>	2,31 <sup>b</sup>	2,97 <sup>ab</sup>	2,91 <sup>ab</sup>	3,11 <sup>a</sup>	0,21
Ingestão							
Min/dia	196,7	223,3	194,2	176,6	188,7	188,3	16,5
Min/kg de MS	25,0	24,5	30,0	20,4	21,4	19,8	2,71
Min/kg de FDN	141,0 <sup>a</sup>	95,2 <sup>ab</sup>	112,1 <sup>ab</sup>	79,7 <sup>b</sup>	81,2 <sup>b</sup>	76,6 <sup>b</sup>	12,5
Min/kg de FDNf	253,3 <sup>a</sup>	109,4 <sup>c</sup>	166,0 <sup>b</sup>	116,7 <sup>c</sup>	112,2 <sup>c</sup>	105,5 <sup>c</sup>	6,72
Ruminação							
Min/dia	230,8 <sup>c</sup>	407,5 <sup>ab</sup>	453,3 <sup>a</sup>	457,5 <sup>a</sup>	240,0 <sup>c</sup>	371,0 <sup>b</sup>	20,0
Min/kg de MS	29,2 <sup>d</sup>	44,5 <sup>bc</sup>	67,3 <sup>a</sup>	53,4 <sup>b</sup>	26,6 <sup>d</sup>	39,1 <sup>cd</sup>	3,00
Min/kg de FDN	164,7 <sup>bc</sup>	173,0 <sup>bc</sup>	273,4 <sup>a</sup>	209,0 <sup>b</sup>	102,0 <sup>d</sup>	151,6 <sup>cd</sup>	6,91
Min/kg de FDNf	329,3 <sup>a</sup>	142,3 <sup>c</sup>	215,8 <sup>b</sup>	151,7 <sup>c</sup>	145,8 <sup>c</sup>	137,1 <sup>c</sup>	8,42
Mastigação							
Min/dia	427,5 <sup>c</sup>	631,0 <sup>ab</sup>	648,0 <sup>a</sup>	634,1 <sup>a</sup>	428,0 <sup>c</sup>	576,0 <sup>b</sup>	18,72
Min/kg de MS	54,3 <sup>cd</sup>	69,0 <sup>bc</sup>	96,6 <sup>a</sup>	73,8 <sup>b</sup>	48,4 <sup>d</sup>	60,6 <sup>bcd</sup>	4,63
Min/kg de FDN	305,8 <sup>b</sup>	268,0 <sup>b</sup>	393,8 <sup>a</sup>	288,4 <sup>b</sup>	184,0 <sup>c</sup>	235,0 <sup>bc</sup>	19,72
Min/kg de FDNf	582,6 <sup>a</sup>	252,0 <sup>c</sup>	381,7 <sup>b</sup>	268,5 <sup>c</sup>	258,0 <sup>c</sup>	242,5 <sup>c</sup>	15,61

<sup>1</sup>CN = Controle negativo (10% de FDN de silagem de milho - % MS); CP = Controle positivo (20% de FDN de silagem de milho - % MS); BAG = Bagaço de cana-de-açúcar *in natura* (10% de FDN de BAG e 10% de FDN de silagem de milho - % MS); CAN = Cana-de-açúcar *in natura* (10% de FDN de CAN e 10% de FDN de silagem de milho - % MS); CSOJ = Casca de soja (10% de FDN de CSOJ e 10% de FDN de silagem de milho - % MS); TALG = Torta de algodão desengordurada (10% de FDN de TALG e 10% de FDN de silagem de milho - % MS)

<sup>ab</sup> Letras distintas na mesma linha indicam diferença estatística pelo teste LSMeans ao nível de 5%.

Importante destacar que a ração contendo inclusão de 10% de FDN de casca de soja, não diferiu ( $P>0,05$ ) do tratamento CN contendo apenas 10% de FDN de silagem de milho na RT, quanto aos tempos de ruminação e mastigação em minutos por dia. Este comportamento pode ser explicado em virtude da casca de soja possuir tamanho médio de partícula (TMP) tão reduzido (6,44 mm) (tabela 2.8) a ponto de não estimular a ruminação e a mastigação (tabela 2.5). Também, ao avaliar o TMP das rações experimentais (tabela 2.9) resultados semelhantes ( $P>0,05$ ) foram observados para os tratamentos CN e CSOJ, corroborando com os menores tempos de mastigação e

ruminação (min/dia), bem como, os menores valores de pH ruminal (figura 2.9). Dessa forma, mesmo a casca de soja possuindo teores altos da fração FDN (69,03) em comparação a silagem de milho (57,49) (tabela 2.1) o seu menor TMP (tabela 2.8) e, conseqüentemente, menor TMP da ração total (tabela 2.9) sugere que a casca de soja não é efetiva em estimular a mastigação, a ruminação e o pH ruminal em bovinos, justificando que apenas o teor de FDN não é ferramenta capazes de substituir diferentes fontes de fibra, principalmente FFNF (co-produtos), em rações para bovinos (ARMENTANO; PEREIRA, 1997; OWENS, 2008b). Os menores valores de consumo ajustado de MS e fração FDN (tabela 2.4) para o tratamento CSOJ também são declaratórios de sua menor efetividade.

Mooney e Allen (1997) desenvolveram método para calcular o fator de efetividade física da fração FDN e utilizaram valor médio encontrado na literatura de 355 minutos por dia de atividade de mastigação para rações que continham zero por cento da fração FDN na ração total. Estes autores mencionaram que esse valor deveria ser investigado em experimentos futuros em virtude de alterações no padrão de resposta de bovinos a determinada ração.

No presente trabalho, rações contendo 10% de FDN de silagem de milho (tratamento CN) apresentaram tempo médio de mastigação de 427,5 minutos por dia.

Lima (2003) trabalhando com vacas leiteiras recebendo ração contendo 14 % de FDN de silagem de milho apresentaram tempo de mastigação de 479 minutos por dia, resultado este bastante próximo ao encontrado no presente trabalho. No experimento de Lima (2003) o tempo de mastigação aumentou 18,12 minutos por dia, por unidade de aumento da fração FDN de silagem de milho quando comparado com o tempo de mastigação de vacas recebendo ração contendo 22 por cento de FDN de silagem de milho. Ao comparar os resultados de Lima (2003) e o presente trabalho, incremento semelhante foi observado, visto que o tempo de mastigação aumentou 20,35 minutos por dia, por unidade de aumento de FDN de silagem de milho quando comparado com o tempo de mastigação de bovinos recebendo ração contendo 20 % de FDN de silagem de milho (tratamento CP).

Mertens (1997) sugere que para manter o teor de gordura do leite em 3,6% de vacas em lactação é necessário tempo de mastigação de 744 minutos por dia ou 36,1

minutos por quilo de matéria seca consumida. Valores sugeridos por Mertens (1997) quanto ao tempo de mastigação em minutos por dia são superiores aos encontrados neste trabalho envolvendo medidas efetuadas em bovinos de corte. Além disso, ao avaliar os valores em minutos por quilo de matéria seca consumida de vacas leiteiras, Mertens (1997) encontrou valores inferiores aos do presente trabalho. Tal comportamento se deve provavelmente ao maior CMS de vacas em lactação quando comparado aos resultados obtidos do presente estudo. Assim, diante desses resultados, maior atenção deve ser dada ao comparar respostas de comportamento ingestivo entre diferentes grupos de animais e de “status” fisiológico distintos.

Rações contendo diferentes fontes ou diferente teor de fibra diferiram ( $P>0,05$ ) quanto ao tempo de ruminação em minutos por kg da fração FDN, sendo que para o tratamento contendo a inclusão de bagaço *in natura* de cana-de-açúcar foi observado o maior valor. Quando expresso por unidade de FDNf consumida (min/kg de FDNf), o tempo de ruminação foi maior para o tratamento CN ( $P<0,05$ ) e menor para os tratamentos CP, CAN, CSOJ e TALG.

O tratamento CN, mesmo apresentando menor consumo de FDNf por dia, resultou em maior tempo de ingestão, de ruminação e de mastigação em minutos por quilo de FDNf quando comparado com os demais tratamentos (tabela 2.5). Esse comportamento foi relatado por Grant (1997) sugerindo que bovinos possuem mecanismo adaptativo de compensação pelo qual a ruminação torna-se mais eficiente (maior tempo de mastigação por quilo de FDNf consumida) quando são oferecidas rações contendo baixos percentuais da fração FDN na ração total. Esse mecanismo parece sugerir que caso a ingestão da fração FDN fosse aumentada haveria menos tempo dispensado para ruminação de cada unidade de FDN como reflexo da limitação em ampliar demasiadamente o tempo de ruminação naturalmente restrito pela fisiologia do animal.

A adição de 10% de bagaço *in natura* de cana-de-açúcar aumentou o tempo de mastigação em minutos por quilo de FDN na RT ( $P>0,05$ ) quando comparado com os demais tratamentos, favorecendo por conseqüência maiores valores de pH ruminal para o mesmo tratamento (figura 2.9).

De acordo com Beauchemin; Maekawa; Christensen (2002) a ingestão diária de determinada ração é o resultado do número de refeições diárias, da taxa de consumo de cada refeição, e da duração de cada refeição. Assim, qualquer mudança que envolva modificações no padrão de refeição do animal, como por exemplo, composição da ração, pode resultar em mudanças no CMS.

Mesmo reconhecendo que padrões de refeições possam ser modificados por alterações no manejo do rebanho, no tipo de ração, nas características do animal, no ambiente, entre outros, há poucas informações na literatura sobre como esses fatores afetam os padrões de refeições (DADO; ALLEN, 1993).

No presente trabalho, mesmo havendo diferenças no CMS de bovinos (Tabela 2.4) não se observou alterações ( $P>0,05$ ) no tempo da primeira refeição, no número de refeições, bem como na duração média diária de cada refeição em cada tratamento (tabela 2.6). Tal resultado pode ser explicado por alterações na taxa de ingestão em quilos de MS por hora entre os tratamentos (tabela 2.5).

Tabela 2.6 – Influência da fonte de fibra nos padrões de refeições de bovinos de corte

Variável	Fontes de fibra <sup>1</sup>						EPM
	CN	CP	BAG	CAN	CSOJ	TALG	
Primeira refeição							
Tempo primeira refeição, min	39,2	35,0	34,4	30,0	39,7	36,6	5,1
Número de refeições, dia	11,83	12,00	10,00	11,33	10,12	11,83	1,28
Duração cada refeição, min	19,4	19,1	18,7	15,8	18,7	16,1	1,8

<sup>1</sup>CN = Controle negativo (10% de FDN de silagem de milho - % MS); CP = Controle positivo (20% de FDN de silagem de milho - % MS); BAG = Bagaço de cana-de-açúcar *in natura* (10% de FDN de BAG e 10% de FDN de silagem de milho - % MS); CAN = Cana-de-açúcar *in natura* (10% de FDN de CAN e 10% de FDN de silagem de milho - % MS); CSOJ = Casca de soja (10% de FDN de CSOJ e 10% de FDN de silagem de milho - % MS); TALG = Torta de algodão desengordurada (10% de FDN de TALG e 10% de FDN de silagem de milho - % MS)

<sup>ab</sup> Letras distintas na mesma linha indicam diferença estatística pelo teste LSMeans ao nível de 5%.

A ausência de efeito de fontes e nível de fibra no tempo da primeira refeição está de acordo com a ausência de efeito entre os tratamentos quanto ao tempo de ingestão em minutos por dia apresentados na tabela 2.5. Esse padrão de ingestão sugere que animais mantiveram padrões de refeições semelhantes durante as vinte e quatro horas de avaliação independente do tipo de ração.

Poucos trabalhos avaliaram os padrões de refeição em bovinos de corte (SCHWARTZKOPF-GENSWEIN et al., 2003; BINGHAM et al., 2009).

Bingham et al. (2009) trabalhando com novilhas da raça Brangus relataram média de 14,9 refeições por dia com somatória de 219,7 minutos por dia.

Bhandari et al. (2008) utilizando vacas Holandesas em lactação para avaliar o efeito do tamanho de partícula da silagem de alfafa e da silagem de aveia obtiveram como resposta tempo médio da primeira refeição de 126,5 minutos, 8,0 refeições por dia com duração individual variando entre 35,4 a 36,8 minutos. Ao avaliar os resultados citados por Bhandari et al. (2008) com vacas em lactação conclui-se que essas necessitam maior tempo para realizar a primeira refeição, como também, gastam mais tempo durante cada refeição em um menor número de refeições quando comparado com os resultados encontrados nesse trabalho com bovinos de corte.

Beauchemin; Maekawa; Christensen (2002) reportaram que vacas em lactação alojadas em tie-stall recebendo ração total fizeram 10 a 11 refeições por dia com duração média variando entre 36 a 39 minutos por refeição. Também, Dado e Allen (1994) mencionaram que vacas leiteiras fizeram em média 11 refeições por dia, resultados esses semelhantes aos encontrados no presente trabalho com bovinos de corte. Já a duração média diária de cada refeição relatada por Beauchemin; Maekawa; Christensen (2002) apresentou-se superior aquelas encontradas neste trabalho. Tal comportamento pode ser explicado em função do elevado CMS por vacas leiteiras em lactação (18,1 kg.dia<sup>-1</sup>) relatado no trabalho de Beauchemin; Maekawa; Christensen (2002) quando comparado com a média de CMS (8,50 kg.dia<sup>-1</sup>) de bovinos de corte no presente estudo. Dessa forma, o maior CMS por vacas de leite exigiu maior tempo médio por refeição durante as vinte quatro horas de avaliação.

Mudanças no comportamento ingestivo e elevadas flutuações no CMS de bovinos em confinamentos são sinais sugestivos de distúrbios metabólicos e, conseqüentemente, prejuízos econômicos, e por isso, medidas envolvendo padrões de refeições são de grande importância, sugerindo mais estudos nessa área.

Foi possível observar o padrão diário da atividade de ruminação (figura 2.7) e mastigação (figura 2.8) em porcentagem por hora de bovinos alimentados com as fontes de fibra estudadas. Comparações envolvendo fontes de fibra (bagaço *in natura* de cana-de-açúcar, cana-de-açúcar, casca de soja e torta de algodão desengordurada) foram realizadas utilizando os tratamentos CN (10% de FDN de silagem de milho na RT) e CP (20% de FDN de silagem de milho na RT) como referência.

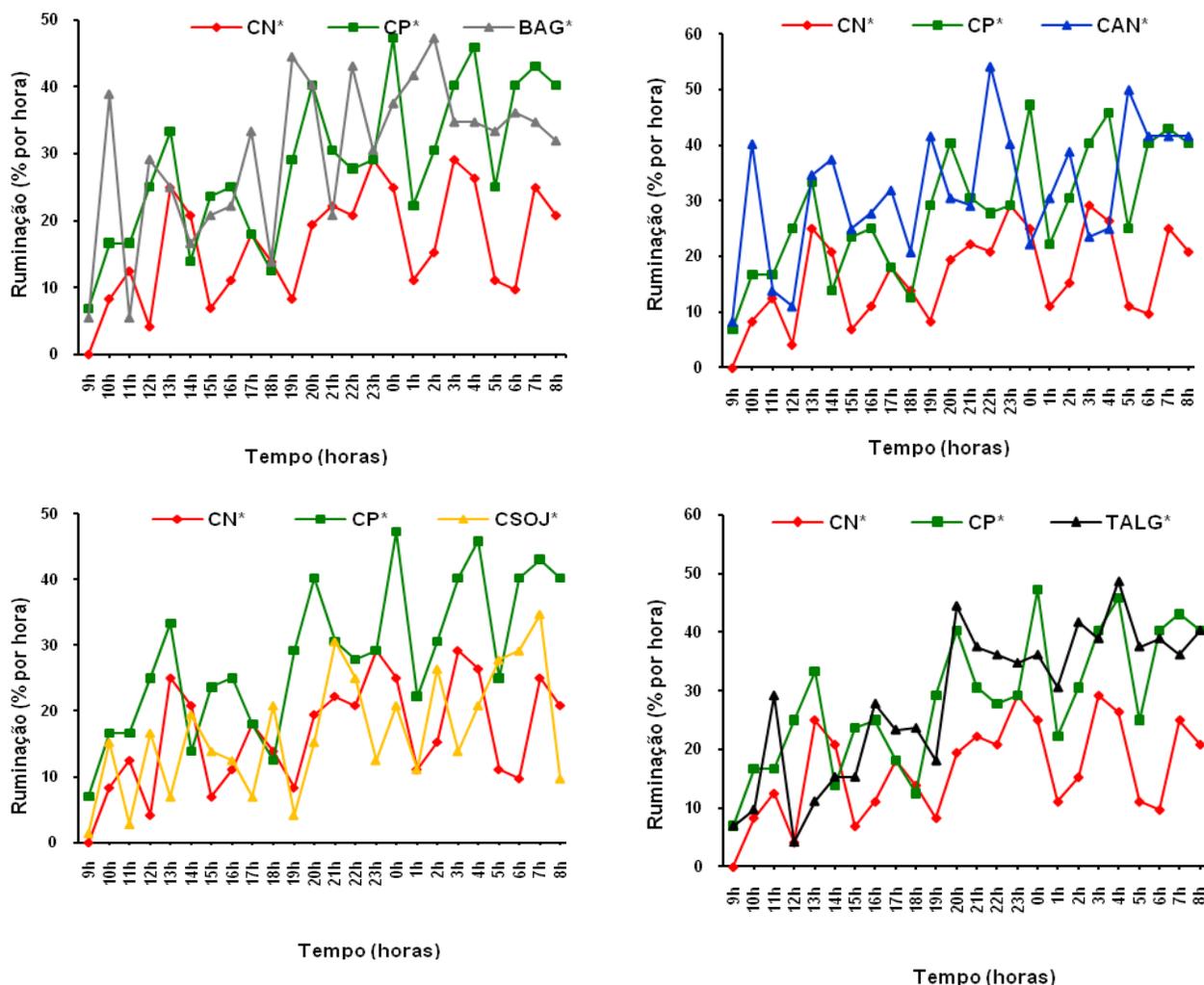


Figura 2.7 – Padrão diário da atividade de ruminação em porcentagem por hora de bovinos alimentados com diferentes fontes de fibra

\*CN = Controle negativo (10% de FDN de silagem de milho - % MS); CP = Controle positivo (20% de FDN de silagem de milho - % MS); BAG = Bagaço de cana-de-açúcar *in natura* (10% de FDN de BAG e 10% de FDN de silagem de milho - % MS); CAN = Cana-de-açúcar *in natura* (10% de FDN de CAN e 10% de FDN de silagem de milho - % MS); CSOJ = Casca de soja (10% de FDN de CSOJ e 10% de FDN de silagem de milho - % MS); TALG = Torta de algodão desengordurada (10% de FDN de TALG e 10% de FDN de silagem de milho - % MS)

Diferenças no tempo de ruminação entre os tratamentos foram mantidas no decorrer das vinte e quatro horas avaliadas evidenciando que a atividade de ruminação se elevou durante o decorrer do dia, tornando-se máxima, horas antes da próxima alimentação (período entre as zero horas às 8 horas da manhã) (figura 2.7). Por outro lado, ao avaliar o padrão diário da atividade de mastigação em porcentagem por hora

(figura 2.8), comportamento inverso foi observado quando comparado com o padrão de ruminação. Padrão diário no tempo de mastigação total apresentou-se mais ativo no início da manhã, momento após o oferecimento da ração total. Diferenças também foram observadas entre os tratamentos, sendo esse comportamento mantido durante todo o dia.

Woodford e Murphy (1988) avaliaram o efeito da forma física da alfafa emurcheda ou da alfafa peletizada quanto ao padrão diário da atividade de ruminação e mastigação (ingestão mais ruminação) em porcentagem por hora em vacas no início de lactação. Resultados semelhantes aos observados no presente trabalho foram observados por Woodford e Murphy (1988), em que estes autores demonstraram que a atividade de ruminação se elevou durante o decorrer do dia, tornado-se máxima, horas antes da próxima alimentação, como também, resultado inverso foi observado ao avaliar o padrão diário da atividade de mastigação em porcentagem por hora.

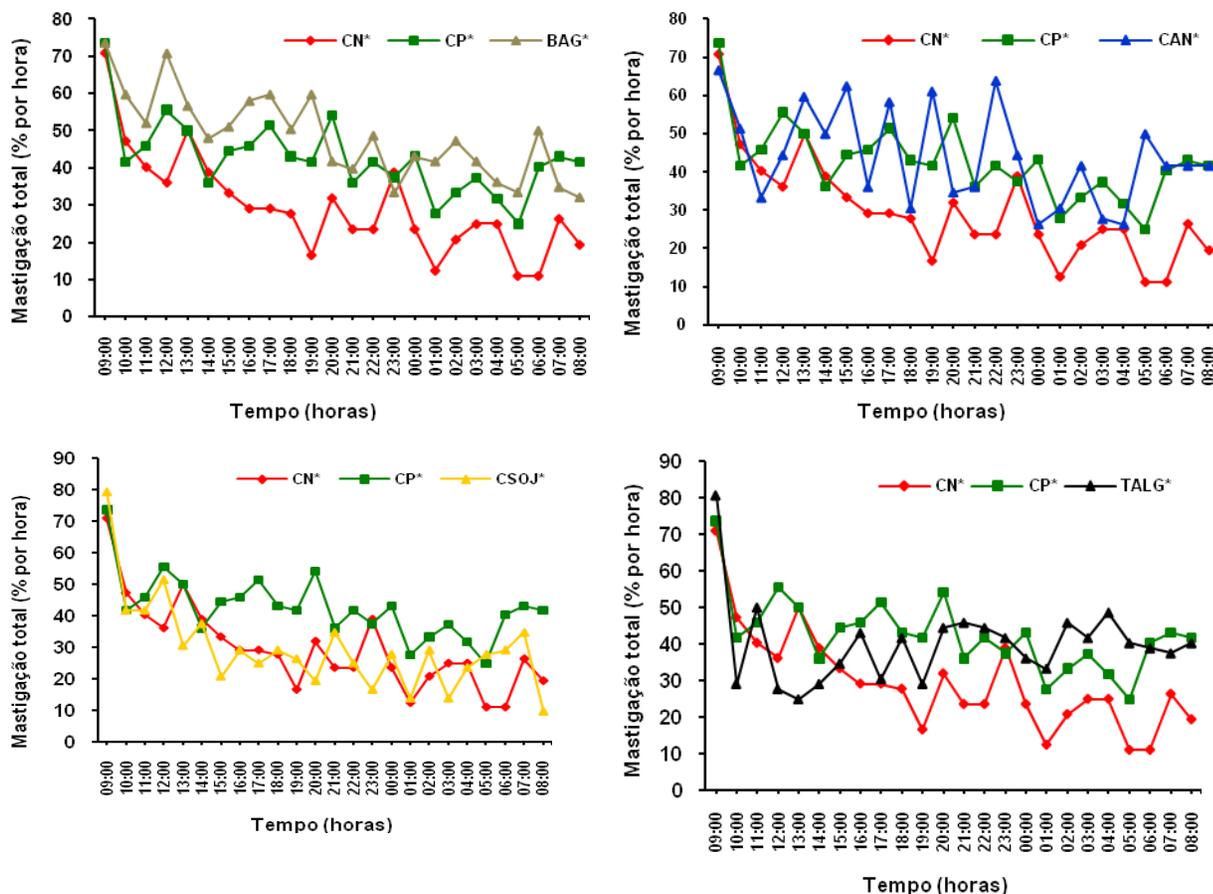


Figura 2.8 - Padrão diário da atividade de mastigação (ingestão mais ruminação) em porcentagem por hora de bovinos alimentados com diferentes fontes de fibra

\*CN = Controle negativo (10% de FDN de silagem de milho - % MS); CP = Controle positivo (20% de FDN de silagem de milho - % MS); BAG = Bagaço de cana-de-açúcar *in natura* (10% de FDN de BAG e 10% de FDN de silagem de milho - % MS); CAN = Cana-de-açúcar *in natura* (10% de FDN de CAN e 10% de FDN de silagem de milho - % MS); CSOJ = Casca de soja (10% de FDN de CSOJ e 10% de FDN de silagem de milho - % MS); TALG = Torta de algodão desengordurada (10% de FDN de TALG e 10% de FDN de silagem de milho - % MS)

Resultados semelhantes ( $P>0,05$ ) foram observados no tempo gasto em ócio em pé e em consumo de água em minutos por dia. Entretanto, houve diferença ( $P<0,05$ ) entre o tempo de permanência dos animais experimentais em ócio deitado em minutos por dia.

Tabela 2.7 – Influência da fonte de fibra no tempo gasto em várias atividades de bovinos

Variável	Fontes de fibra <sup>1</sup>						EPM
	CN	CP	BAG	CAN	CSOJ	TALG	
Consumo água, min.dia <sup>-1</sup>	24,17	20,83	21,14	24,16	22,19	25,00	4,10
Ócio em pé, min.dia <sup>-1</sup>	329,1	253,3	234,0	222,0	254,5	249,1	41,0
Ócio deitado, min.dia <sup>-1</sup>	664,5 <sup>ab</sup>	500,0 <sup>b</sup>	566,2 <sup>ab</sup>	567,3 <sup>ab</sup>	733,0 <sup>a</sup>	594,1 <sup>ab</sup>	46,4

<sup>1</sup>CN = Controle negativo (10% de FDN de silagem de milho - % MS); CP = Controle positivo (20% de FDN de silagem de milho - % MS); BAG = Bagaço de cana-de-açúcar *in natura* (10% de FDN de BAG e 10% de FDN de silagem de milho - % MS); CAN = Cana-de-açúcar *in natura* (10% de FDN de CAN e 10% de FDN de silagem de milho - % MS); CSOJ = Casca de soja (10% de FDN de CSOJ e 10% de FDN de silagem de milho - % MS); TALG = Torta de algodão desengordurada (10% de FDN de TALG e 10% de FDN de silagem de milho - % MS)

<sup>ab</sup> Letras distintas na mesma linha indicam diferença estatística pelo teste LSMeans ao nível de 5%.

### 2.3.4 pH ruminal

Na figura 2.9 está representado graficamente o efeito do pH ruminal como função do tempo pós-alimentação do qual foi possível observar diferença ( $P < 0,05$ ) entre os tratamentos e entre os tempos ( $P < 0,05$ ) de coleta. Os horários representados no eixo da coordenada do gráfico indica a hora do dia em que foram realizadas as determinações de pH ruminal, lembrando que as rações experimentais eram fornecidas aos animais sempre às 08:00 horas. Importante lembrar que não foram detectadas interações entre os tratamentos e os horários de coleta para nenhuma das variáveis estudadas.

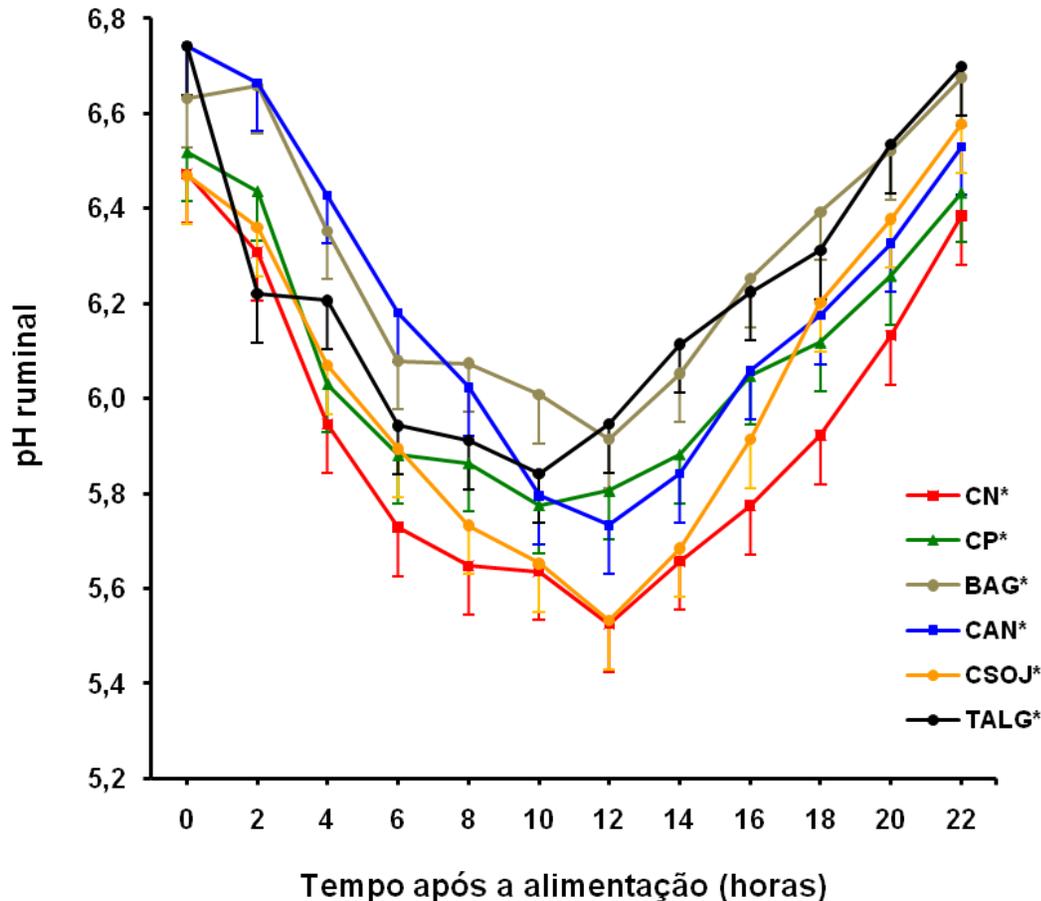


Figura 2.9 – Efeito do pH ruminal como função do tempo após a alimentação de rações contendo fontes de fibra. Dados oriundos de seis bovinos da raça Nelore contendo cânula no saco dorsal do rúmen

\*CN = Controle negativo (10% de FDN de silagem de milho - % MS); CP = Controle positivo (20% de FDN de silagem de milho - % MS); BAG = Bagaço de cana-de-açúcar *in natura* (10% de FDN de BAG e 10% de FDN de silagem de milho - % MS); CAN = Cana-de-açúcar *in natura* (10% de FDN de CAN e 10% de FDN de silagem de milho - % MS); CSOJ = Casca de soja (10% de FDN de CSOJ e 10% de FDN de silagem de milho - % MS); TALG = Torta de algodão desengordurada (10% de FDN de TALG e 10% de FDN de silagem de milho - % MS)

O valor mínimo de pH ruminal, ao longo de 24 horas, foi observado entre 10 e 12 horas após a alimentação de bovinos alimentados uma vez ao dia e recebendo rações contendo diferentes fontes e nível de fibra (figura 2.9). Entre as 10 e 12 horas após a alimentação valores médios de pH ruminal estiveram em torno de 5,91 para o

tratamento TALG e de 5,23 para os tratamentos CN e CSOJ. Interessante observar que no tratamento CSOJ, mesmo apresentando 20% da fração FDN de fibra na RT, este apresentou valor de pH ruminal semelhante ao tratamento CN, contendo apenas 10% da fração FDN de silagem de milho. Tal comportamento pode ser justificado em virtude do baixo tempo de mastigação (em minutos por dia) referente ao tratamento CSOJ (tabela 2.5) comprovando a baixa efetividade física da casca de soja (tabela 3.8, capítulo 3).

### **2.3.5 Tamanho médio de partículas dos ingredientes e rações**

O tamanho médio de partículas (TMP) e a distribuição de partículas por tamanho em cada peneira de diferentes fontes de fibra e de cada ração experimental estão apresentados nas tabelas 2.7 e 2.8.

Silagem de milho, bagaço *in natura* de cana-de-açúcar e cana-de-açúcar apresentaram TMP semelhantes (19,1, 19,3, 19,5 mm, respectivamente), porém diferenças ( $P < 0,05$ ) foram observadas na distribuição de partículas em cada peneira entre as diferentes fontes de fibra avaliadas. Variações observadas neste estudo relacionadas a distribuição de partículas por tamanho em cada peneira, podem ser explicadas em parte por diferenças entre os equipamentos e ajustes utilizados para o processamento de cada fonte de fibra (JOHNSON et al., 2002).

Menores TMP ( $P < 0,05$ ) foram observados para FFNF (casca de soja e torta de algodão desengordurada quando comparadas com FFF. Também, houve diferenças ( $P < 0,05$ ) no TMP entre FFNF, sendo observado menor TMP para a casca de soja em comparação a torta de algodão desengordurada (6,44 e 15,62, respectivamente).

Co-produtos como a casca de soja e a torta de algodão desengordurada apresentaram menores proporções (0,00 e 1,30%, respectivamente) de partículas retidas em peneiras com 36 mm de diâmetro de orifício ( $P < 0,05$ ) em comparação as demais fontes de fibra avaliadas. Por outro lado, resultados intermediários foram observados para a silagem de milho e a cana-de-açúcar (5,30 e 5,40%, respectivamente) quando comparados com o tratamento BAG (8,19%) quanto a proporção de partículas retidas em peneiras com orifícios de 36 mm de diâmetro.

Tabela 2.8 – Distribuição do tamanho médio de partículas de diferentes fontes de fibra

Extratos	Ingredientes					EP
	Silagem de milho	Bagaço de cana	Cana-de-açúcar	Casca de soja	Torta de algodão	
Porosidade da peneira	% Matéria original					
> 36 mm	5,30 <sup>b</sup>	8,19 <sup>a</sup>	5,40 <sup>b</sup>	0,00 <sup>c</sup>	1,30 <sup>c</sup>	0,64
19 a 36 mm	15,80 <sup>b</sup>	22,74 <sup>a</sup>	20,36 <sup>a</sup>	0,00 <sup>c</sup>	19,30 <sup>ab</sup>	1,38
8 a 19 mm	64,58 <sup>a</sup>	33,12 <sup>d</sup>	51,40 <sup>c</sup>	20,81 <sup>d</sup>	60,02 <sup>b</sup>	1,36
< 8 mm	13,10 <sup>e</sup>	37,17 <sup>b</sup>	22,86 <sup>d</sup>	80,42 <sup>a</sup>	31,50 <sup>c</sup>	1,94
TMP, mm <sup>1</sup>	19,1 <sup>a</sup>	19,3 <sup>a</sup>	19,5 <sup>a</sup>	6,44 <sup>c</sup>	15,62 <sup>b</sup>	0,73

<sup>1</sup>TMP: Tamanho médio de partículas. Distribuição do tamanho médio de partícula foi calculada conforme método descrito por Lammers et al. (1996)

<sup>ab</sup> Letras distintas na mesma linha indicam diferença estatística pelo teste LSMeans ao nível de 5%.

Heinrichs et al. (1999) avaliaram o TMP de mais de cinco mil amostras de silagem de milho proveniente de fazendas de leite norte americanas e encontraram proporção média de  $8,1 \pm 6,4\%$  da MS retidas em peneiras com 19 mm de porosidade. Entretanto, tais autores mencionaram elevada variação no TMP entre propriedades, sendo reportada variação entre 1 a 81% da MS das amostras de silagem de milho retidas em peneiras com porosidades maiores que 19 mm.

O TMP de forragem e a concentração de FDNf na ração exerce impacto no pH ruminal. Grant et al. (1990), Woodford et al. (1988) reportaram que o TMP do feno de alfafa necessário para manter o pH ruminal, a atividade de mastigação e a porcentagem de gordura no leite é de aproximadamente três milímetros, valores bem inferiores aos observados no presente trabalho. Por outro lado, rações contendo silagem de alfafa e TMP menores que três milímetros resultaram em depressão de gordura no leite, diminuição do pH ruminal e redução no tempo de mastigação total (BEAUCHEMIN et al., 1994). Também, Allen (1997) avaliando a relação entre comprimento de partícula de forragem e tempo total de mastigação utilizando dados de dez experimentos com vacas leiteiras encontraram limite de aproximadamente três milímetros de TMP, não observando por consequência alteração no tempo de mastigação total quando tamanhos maiores de partículas foram utilizados.

Tabela 2.9 – Distribuição do tamanho médio de partículas de rações experimentais contendo diferentes fontes de fibras tropicais

Extratos	Ração total <sup>1</sup>						
	CN	CP	BAG	CAN	CSOJ	TALG	EP
Porosidade da peneira	% Matéria original						
> 36 mm	0,00 <sup>c</sup>	3,41 <sup>a</sup>	2,14 <sup>ab</sup>	2,70 <sup>ab</sup>	1,58 <sup>b</sup>	2,50 <sup>ab</sup>	0,27
19 a 36 mm	3,53 <sup>c</sup>	12,94 <sup>ab</sup>	16,41 <sup>a</sup>	7,32 <sup>bc</sup>	2,95 <sup>c</sup>	3,26 <sup>c</sup>	1,29
8 a 19 mm	10,57 <sup>c</sup>	37,39 <sup>a</sup>	27,74 <sup>ab</sup>	31,62 <sup>ab</sup>	11,30 <sup>c</sup>	22,17 <sup>b</sup>	2,38
< 8 mm	85,90 <sup>a</sup>	48,24 <sup>b</sup>	54,32 <sup>b</sup>	58,35 <sup>b</sup>	89,30 <sup>a</sup>	81,43 <sup>a</sup>	3,29
TMP, mm <sup>2</sup>	6,31 <sup>c</sup>	13,45 <sup>a</sup>	12,31 <sup>a</sup>	13,48 <sup>a</sup>	7,71 <sup>c</sup>	9,83 <sup>b</sup>	0,04

<sup>1</sup>CN = Controle negativo (10% de FDN de silagem de milho - % MS); CP = Controle positivo (20% de FDN de silagem de milho - % MS); BAG = Bagaço de cana-de-açúcar *in natura* (10% de FDN de BAG e 10% de FDN de silagem de milho - % MS); CAN = Cana-de-açúcar *in natura* (10% de FDN de CAN e 10% de FDN de silagem de milho - % MS); CSOJ = Casca de soja (10% de FDN de CSOJ e 10% de FDN de silagem de milho - % MS); TALG = Torta de algodão desengordurada (10% de FDN de TALG e 10% de FDN de silagem de milho - % MS)

<sup>2</sup>TMP: Tamanho médio de partículas. Distribuição do tamanho médio de partícula foi calculada conforme método descrito por Lammers et al. (1996)

<sup>ab</sup> Letras distintas na mesma linha indicam diferença estatística pelo teste LSMeans ao nível de 5%.

Os TMP das fontes de fibra influenciaram os TMP das rações experimentais (tabela 2.9). Tamanhos maiores (13,45, 12,31 e 13,49 mm) foram observados para os tratamentos CP, BAG e CAN, respectivamente. Entretanto, em virtude dos menores TMP da casca de soja, rações contendo 10% de FDN desse ingrediente apresentaram menores TMP. Vale observar também que resultados semelhantes ( $P > 0,05$ ) foram observados entre os tratamentos CN e CSOJ (6,31 e 7,71 mm, respectivamente). Mesmo considerando que o tratamento CN continha silagem de milho com TMP de 19,1 mm, a maior proporção de concentrado existente nesta ração promoveu maior quantidade de MS (89,30%) retida em peneira com porosidade menor que 8 mm.

Também, diferenças ( $P < 0,05$ ) foram observadas na distribuição de partículas em cada peneira entre as rações experimentais, geralmente relacionadas à distribuição de partículas características da fonte de fibra nelas contidas (tabela 2.9)

De acordo com Mertens (2000) a atividade de mastigação pode ser utilizada como condição padrão para avaliar a estrutura física dos alimentos. Tal afirmativa está

de acordo com os resultados observados neste trabalho ao comparar o tempo de mastigação em minutos por dia e o TMP das diferentes rações experimentais.

Maiores TMP das rações CP, BAG e CAN promoveram maiores tempos de mastigação em minutos por dia (631,0, 648,0 e 634, respectivamente). Rações contendo inclusão de 10% de torta de algodão desengordurada apresentaram TMP intermediários (9,83 mm) e conseqüentemente valores de tempo de mastigação em minutos por dia também intermediários (576,0). Por outro lado, por haver menor TMP das rações CN e CSOJ, menores tempos de mastigação em minutos por dia foram observados nesses tratamentos (427,5 e 428,0, respectivamente).

### **2.3.6 Conteúdo ruminal, consistência do “mat” ruminal e repleção ruminal**

Rações contendo inclusão de 10% de FDN de bagaço *in natura* de cana-de-açúcar apresentaram maior teor de MS da digesta ruminal ( $P < 0,05$ ) em comparação aos tratamentos CN e CSOJ (tabela 2.10). Em razão do maior tempo de mastigação observado no tratamento BAG (tabela 2.5), era de se esperar maior produção de saliva nos animais alimentados com tal dieta e, conseqüentemente, menor teor de MS no conteúdo ruminal.

De acordo com Sudweeks (1977) a atividade de mastigação é positivamente relacionada à produção de saliva, sendo usualmente considerada bom indicador da saúde ruminal. Além disso, a produção de saliva é responsável por setenta a noventa por cento do fluido e da capacidade de tamponamento no rúmen, além de ser o maior determinante da taxa de fluxo líquido do rúmen (MAEKAWA; BEAUCHEMIN; CHRISTENSEN, 2002).

A substituição de 10% de FDN de silagem de milho por 10% de FDN de cana-de-açúcar ou torta de algodão desengordurada promoveu teores de MS no conteúdo ruminal semelhantes ( $P > 0,05$ ) às rações contendo 20% de FDN na ração total de silagem de milho (tratamento CP).

Não houve efeito ( $P > 0,05$ ) entre tratamentos sobre o peso úmido em quilos do conteúdo da digesta ruminal (tabela 2.10). Entretanto, ao avaliar o peso seco em quilos observou-se diferença ( $P < 0,05$ ) entre os tratamentos.

Maior peso (com base na MS) de conteúdo ruminal foi observado nos tratamentos CP, BAG, CAN e TALG, diferindo ( $p < 0,05$ ), entretanto dos animais consumindo rações contendo 10% da fração FDN de silagem de milho na RT (tratamento CN) ou 10% de FDN de casca de soja (tratamento CSOJ). Este comportamento está de acordo com os dados demonstrados na tabela 2.4, em que menores valores de CMS foram observados para os tratamentos CN e CSOJ, justificando o menor peso do conteúdo ruminal com base na MS.

Tabela 2.10 – Conteúdo ruminal e consistência do “mat” ruminal de bovinos recebendo rações contendo diferentes fontes e nível de fibra

	Fonte de fibra <sup>1</sup>						EP
	CN	CP	BAG	CAN	CSOJ	TALG	
Conteúdo ruminal							
Teor MS, %	15,50 <sup>c</sup>	19,50 <sup>ab</sup>	21,37 <sup>a</sup>	19,58 <sup>ab</sup>	15,28 <sup>c</sup>	18,29 <sup>b</sup>	0,45
Peso úmido, kg	36,66 <sup>a</sup>	42,70 <sup>a</sup>	41,55 <sup>a</sup>	43,06 <sup>a</sup>	39,19 <sup>a</sup>	41,7 <sup>a</sup>	2,67
Peso seco, kg	5,75 <sup>b</sup>	8,35 <sup>a</sup>	8,88 <sup>a</sup>	8,42 <sup>a</sup>	6,01 <sup>b</sup>	7,64 <sup>a</sup>	0,54
Consistência do “mat” ruminal							
Tempo de ascensão do peso interno							
Segundos	399 <sup>d</sup>	1520 <sup>bc</sup>	1895 <sup>ab</sup>	2060 <sup>a</sup>	448 <sup>d</sup>	1045 <sup>c</sup>	140
Distância percorrida pelo peso interno							
Centímetros	56,25 <sup>a</sup>	51,66 <sup>ab</sup>	42,45 <sup>b</sup>	43,50 <sup>b</sup>	54,40 <sup>a</sup>	47,01 <sup>ab</sup>	2,52
Taxa de ascensão do peso interno <sup>3</sup>							
cm/s	8,51 <sup>a</sup>	2,07 <sup>b</sup>	1,34 <sup>b</sup>	1,33 <sup>b</sup>	7,76 <sup>a</sup>	2,81 <sup>b</sup>	0,36

<sup>1</sup>CN = Controle negativo (10% de FDN de silagem de milho - % MS); CP = Controle positivo (20% de FDN de silagem de milho - % MS); BAG = Bagaço de cana-de-açúcar *in natura* (10% de FDN de BAG e 10% de FDN de silagem de milho - % MS); CAN = Cana-de-açúcar *in natura* (10% de FDN de CAN e 10% de FDN de silagem de milho - % MS); CSOJ = Casca de soja (10% de FDN de CSOJ e 10% de FDN de silagem de milho - % MS); TALG = Torta de algodão desengordurada (10% de FDN de TALG e 10% de FDN de silagem de milho - % MS)

<sup>3</sup>Taxa de ascensão = distância percorrida/tempo de ascensão do peso interno, conforme método proposto por Welch (1982)

<sup>ab</sup> Letras distintas na mesma linha indicam diferença estatística pelo teste LSMeans ao nível de 5%

Estudos envolvendo avaliações contendo de fontes e teor de fibra em rações para bovinos permite visualizar padrões distintos de estratificação da fase sólida do rúmen. Esta estratificação da fase sólida é representada por uma camada densa de partículas fibrosas recém-ingeridas e que flutua sobre a fase líquida do interior do órgão sendo chamada de “mat” ruminal (ou do inglês, “rúmen mat”) (HUNGATE, 1966; VIEIRA; FERNANDES, 2006; WELCH, 1982). Dessa forma, a consistência do “mat” ruminal é responsável por estimular a ruminação e a diminuição de partículas longas presentes no rúmen. Nesse cenário, Forragens de baixa qualidade ou rações contendo maior proporção de fontes de fibra geram maior tempo de mastigação total (ruminação mais ingestão) do animal no intuito de diminuir o tamanho de partícula do alimento, bem como por ação química da digestão microbiana (WELCH; SMITH, 1970). Também, por meio de mecanismos de filtragem o “mat” ruminal exerce a função de reter partículas pequenas que teriam alta probabilidade de escapar rapidamente do rúmen, aumentando seu tempo de digestão. Assim, menores partículas de FFNF podem permanecer por mais tempo no conteúdo ruminal, aumentando a digestibilidade da fibra dessas fontes (GRANT, 1997).

A consistência do “mat” ruminal foi influenciada ( $P < 0,05$ ) por fontes e nível de forragem (tabela 2.10). Valores semelhantes na taxa de ascensão em centímetro por segundo ( $P > 0,05$ ) foram observados nos tratamentos CP, BAG, CAN e TALG, diferindo ( $P < 0,05$ ), entretanto dos tratamentos CN e CSOJ. Deve-se salientar que rações contendo 10% de FDNNF de casca de soja e 20% de FDN na RT apresentaram taxas de ascensão (cm/s) semelhante às rações contendo apenas 10% de FDN de silagem de milho na RT (tratamento CN) em decorrência da menor espessura do “mat” e menor resistência ao deslocamento vertical. Este comportamento concorda com o menor TMP da casca de soja (2.9), menor TMP da ração referente ao tratamento CSOJ (2.10), menores tempos de mastigação (tabela 2.5), bem como os baixos valores de pH ruminal observados 12 horas após a oferta de alimento dos tratamentos CN e CSOJ (figura 2.9).

Ao avaliar o tempo de ascensão do peso interno conforme método desenvolvido por Welch (1982), rações contendo substituição de 10% de FDN de silagem de milho por cana-de-açúcar apresentaram maior tempo de ascensão ( $P < 0,05$ ) quando

comparado com os tratamentos CN e CSOJ. Por outro lado, menores distâncias percorridas em centímetros foram observadas nos tratamentos BAG e CAN diferindo ( $P < 0,05$ ) dos tratamentos CN e CSOJ.

Em virtude da maior consistência e espessura do “mat” ruminal entre os tratamentos BAG e CAN foram constatadas menores distâncias percorridas desses tratamentos (42,45 e 43,50 cm, respectivamente). Contudo, rações contendo apenas 10% de FDNF de silagem de milho na RT (tratamento CN) e rações com 10% de FDNF de casca de soja e 20% de FDN na RT apresentaram maiores distâncias percorridas (56,25 e 54,40 cm, respectivamente). Dessa forma, é possível concluir que a substituição de 10% de silagem de milho por casca de soja em rações contendo 20% de FDN de silagem de milho não produziu adequada estratificação da fase sólida contendo poucas partículas flutuantes sobre a fase líquida do rúmen.

Como demonstrado na tabela 2.10, o “mat” ruminal dos bovinos alimentados com os tratamentos BAG, CAN e TALG foi cerca de 10 cm mais espesso que o “mat” ruminal dos tratamentos CN, CP e CSOJ, refletindo por conseqüência, no maior tempo de ruminação e mastigação dos bovinos alimentados com os tratamentos BAG, CAN e TALG (tabela 2.5).

Estudos conduzidos por Allen e Grant, (2000), Weidner e Grant (1994) e Grant (1997) concluíram que a consistência do “mat” ruminal foi reduzida quando co-produtos (FFNF) substituíram parcialmente FFF. Provavelmente, a redução na consistência do “mat” ruminal observada nesses trabalhos foi devido ao menor tamanho de partícula de FFNF (tabela 2.8 e 2.9), resultando conseqüentemente diminuição na atividade de mastigação.

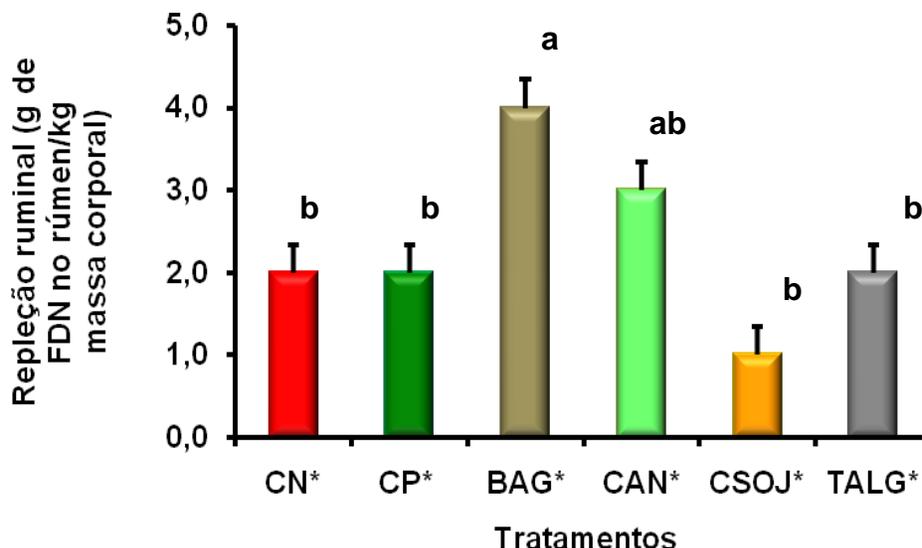


Figura 2.10 – Efeito de repleção ruminal, em gramas de FDN no rúmen por quilo de massa corporal, de bovinos alimentados com diferentes fontes de fibra  
 \*CN = Controle negativo (10% de FDN de silagem de milho - % MS); CP = Controle positivo (20% de FDN de silagem de milho - % MS); BAG = Bagaço de cana-de-açúcar *in natura* (10% de FDN de BAG e 10% de FDN de silagem de milho - % MS); CAN = Cana-de-açúcar *in natura* (10% de FDN de CAN e 10% de FDN de silagem de milho - % MS); CSOJ = Casca de soja (10% de FDN de CSOJ e 10% de FDN de silagem de milho - % MS); TALG = Torta de algodão desengordurada (10% de FDN de TALG e 10% de FDN de silagem de milho - % MS)

Maior efeito de repleção ruminal (g de FDN no rúmen/kg de massa corporal) ( $P < 0,05$ ) foi observado em bovinos recebendo rações contendo 10% da fração FDN de bagaço *in natura* de cana-de-açúcar em comparação aos demais tratamentos (figura 2.10). Não houve diferença ( $P > 0,05$ ) entre rações contendo diferentes teores da fração FDN de silagem de milho, tratamentos CN e CP (2 e 2 g de FDN no rúmen/kg de massa corporal, respectivamente) e rações contendo inclusão de co-produtos fibrosos (1 e 2 g de FDN no rúmen/kg de massa corporal, respectivamente). Por outro lado, bovinos recebendo tratamento CAN apresentaram valor de repleção ruminal intermediário aos tratamentos BAG e os demais tratamentos avaliados. Com exceção ao tratamento CN, os semelhantes valores de repleção ruminal observados entre os tratamentos contendo

mesma proporção da fração FDN de fibra (tratamentos CP, CSOJ e TALG) estão em concordância com padrão de CMS observado nestes tratamentos.

Sabendo que o consumo voluntário de bovinos está diretamente relacionado com o efeito do repleção ruminal (JARRIGE et al. 1986; VIEIRA, TEDESCHI; CANAS, 2008) é possível destacar a estreita concordância entre essas variáveis no presente trabalho.

Maior efeito de repleção ruminal observado em bovinos alimentados com bagaço *in natura* de cana-de-açúcar refletiu em menor CMS, bem como maior consistência do “mat” ruminal (tabela 2.10). Em contra partida, menores efeitos de repleção ruminal observados nos tratamentos contendo FFF (CP e CAN) e nos tratamentos contendo FFNF (CSOJ e TALG) refletiram em maiores valores de CMS (tabela 2.4). Quanto ao tratamento CN, como comentado na sessão 2.3.2, o menor CMS observado neste tratamento se deu provavelmente por efeito quimiostático e não por efeito de repleção ruminal.

## 2.4 Conclusões

Mudanças em fontes e teor de forragens alteram o padrão de consumo em bovinos de corte.

Ao avaliar o comportamento ingestivo, o pH ruminal e as medidas envolvendo o conteúdo ruminal, conclui-se que há diferenças entre fontes de fibra mesmo quando formuladas em níveis idênticos da fração FDN oriundo de fibra (% na ração total). Este comportamento sugere que formulações de rações envolvendo apenas características químicas (teor de fibra detergente neutro) de fontes de fibra, seja na forma de forragem ou de co-produtos não são adequadas para manter padrão adequado de mastigação total, pH ruminal e, conseqüentemente, conteúdo ruminal.

Fontes de fibra forragem ou não forragem podem apresentar valores distintos de fibra detergente neutro fisicamente efetivo, justificando a necessidade do emprego desse conceito em programas de formulação de rações.

Estudos envolvendo avaliações da efetividade da fibra detergente neutro como ferramenta que auxilie a troca de diferentes fontes de fibra tornam-se necessários.

## Referências

ALLEN, M.S. Effects of diet on short-term regulation of feed intake by lactating dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 83, p. 1598-1624, 2000.

ALLEN, M.S. Relationship between fermentation acid production in the rumen and the requirement for physically effective fiber. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 80, p. 1447-1462, 1997.

ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS. **Official methods of analysis of AOAC International**. 16<sup>th</sup>. ed. Arlington, 1995. v. 2. chap. 33. p. 10-11.

ARMENTANO, L.E.; PEREIRA, M.N. Measuring the effectiveness of fiber by animal response trials. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 80, p. 1416-1425, 1997.

BEAUCHEMIN, K.A.; FARR, B.I.; RODE, L.M.; SCHAALJE, G.B. Effects of alfalfa silage chop length and supplementary long hay on chewing and milk production of dairy cows. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 77, p. 1326-1339, 1994.

BEAUCHEMIN, K.A.; MAEKAWA, M.; CHRISTENSEN, D.A. Effect of diet and parity on meal patterns of lactating dairy cows. **Canadian Journal of Animal Science**, Alberta, v. 82, p. 215-223, 2002.

BHANDARI, S.K.; LI, S.; OMINSKI, K.H.; WITTENBERG, K.M.; PLAIZIER, J.C. Effects of the chop lengths of alfalfa silage and oat silage on feed intake, milk production, feeding behavior, and rumen fermentation of dairy cows. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 91, p. 1942-1958, 2008.

BHATTI, S.A.; BOWMAN, J.G.P.; FIRKINS, J.L.; GROVE, A.V.; HUNT, C.W. Effect of intake level and alfalfa substitution for grass hay on ruminal kinetics of fiber digestion and particle passage in beef cattle. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 86, p. 134-145, 2008.

BINGHAM, G.M.; FRIEND, T.H., LANCASTER, P.A.; CARSTENS, G.E. Relationship between feeding behavior and residual feed intake in growing Brangus heifers. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 87, p. 2685-2689, 2009.

BULLE, M.L.M.;RIBEIRO, F.G.;LEME, P.R.;TITTO, E.A.L.;LANNA, D.P.D. Desempenho de tourinhos cruzados em dietas de alto teor de concentrado com bagaço de cana-de-açúcar como único volumoso. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 31, n.1, p. 444-450, 2002.

CHANEY, A.L.;MARBACK, E.P. Modified reagents for determination of urea and ammonia. **Clinical Chemistry**, Washington, v.8, p. 130-137, 1962.

DADO, R.G.; ALLEN, M.S. Variation in and relationships among feeding, chewing, and drinking variables for lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 77, p. 132-144, 1994.

DEFOOR, P.J.; GALYEAN, M.L.; SALYER, G.B.; NUNNERY, G.A.; PARSONS, C.H. Effects of roughage sources and concentration on intake and performance by finishing heifers. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 81, p. E8-E16, 2002.

GALYEAN, M.L.; DEFOOR, P.J. Effects of roughage source and level on intake by feedlot cattle. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 81, p. E8-E16, 2003.

GRANT, R.J.; COLENBRANDER, V.J.; ALBRIGHT, J.L. Effect of particle size of forage and rumen cannulation upon chewing activity and laterality in dairy cows. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 73, p. 3158-3164, 1990.

GRANT, R.J. Interactions among forages and nonforage fiber sources. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 80, p. 1438-1446, 1997.

HEINRICHS, A.J.; BUCKMASTER, D.R.; LAMMERS, B.P. Processing, mixing, and particle size reduction of forages for dairy cattle. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 77, p. 180-186, 1999.

HENRIQUE, W.; FILHO, J.A.B.; LEME, P.R.; LANNA, D.P.D.; ALLEONI, G.F., FILHO, J.L.V.C.; SAMPAIO, A.A.M. Avaliação da silagem de grãos de milho úmido com diferentes volumosos para tourinhos em terminação. Desempenho e características de carcaça. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 36, n. 1, p. 183-190, 2007.

HUNGATE, R.E. **The rumen and its microbes**. New York: Academic Press ,1966. 533p.

JARRIGE, R.; DEMARQUILLY, C.; DULPHY, J.P. The INRA "Fill Unit" system for predicting the voluntary intake of forage-based diets in ruminants: a review. **Journal of Animal Science**, Champaign, v.63, p. 1737-1758, 1986.

JOHNSON, L.; HARRISON, J.H.; DAVIDSON, D.; ROBUTTI, J. SWIFT, M.; MAHANNA, B.; SHINNERS, K. Corn silage management I. Effects of hybrid, maturity, mechanical processing, on chemical and physical characteristics. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 85, p. 833-858, 2002.

KONONOFF, P.J., HEIRINCHS, A.J., LEHMAN, H.A. The effect of corn silage particle size on eating behaviour, chewing activities and rumen fermentation in lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 86, p. 3343-3353, 2003.

KRAUSE, K.M.; COMBS, D.K.; BEAUCHEMIN, K.A. Effects of increasing levels of refined corn starch in the diet of lactating dairy cows on performance and ruminal pH. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 86, p. 1341-1353, 2003.

LAMMERS, B.P.;BUCKMASTER, D.R.;HEINRICHS, A.J. A simple method for the analysis of particle size of forage and total mixed rations. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 79, p. 992-928, 1996.

LIMA, M.L.M.; **Análise comparativa da efetividade da fibra de volumosos e subprodutos**. 2003. 118p. Tese (Doutorado em Ciência Animal e Pastagem) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

MAEKAWA, M.; BEAUCHEMIN, K.A.;CHRISTENSEN, D.A. Chewing activity, saliva production and ruminal pH of primiparous and multiparous lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 85, p. 1176-1182, 2002.

MARI, L.J.;NUSSIO, L.G. **O método Penn State Particle Size Separator para a predição do tamanho de partículas de silagens**. 2002. Disponível em: <<http://www.beefpoint.com.br/bn/radarestecnicos>>. Acesso em: 21 jan 2007.

MERTENS, D.R. Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 80, p. 1463-1482, 1997.

MERTENS, D.R. Physically effective NDF and its use in formulating dairy rations. **Feedstuffs**, v.10, p.11-14, April 2000.

MILLEN, D.D.; PACHECO, R.D.L.; ARRIGONI, M.D.B.; GALYEAN, M.L.; VASCONCELOS, J.T. A snapshot of management practices and nutritional recommendations used by feedlot nutritionists in Brazil. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 87, p. 3427-3439, 2009.

MOONEY C.S., ALLEN, M.S. Physical effectiveness of the neutral detergent fiber of whole cottonseed relative to that of alfalfa silage at two lengths of cut. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 80, p. 2052-2061, 1997.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requirements of beef cattle**. 7th.ed. Washington: National Academy Press, 1996. 242p.

OBA, M.; ALLEN, M.S. Effects of corn grain conservation method on feeding behavior and productivity of lactating dairy cows at two dietary starch concentrations. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 86, p. 174 -183, 2003.

OWENS, F.N. Optimization of feedlot diets with high density of energy and nutrients. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE PRODUÇÃO DE GADO DE CORTE,4., 2008, Viçosa. **Anais...** Viçosa: UFV, 2008. p. 95-120.

PALMQUIST, D.L.; CONRAD, H.R. Origin of plasma fatty acids in lactating cows fed high grain or high fat diets. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 54, p. 1025-1030, 1971.

PARSONS, C.H.; VASCONCELOS, J.T.; SWINGLE, R.S.; DEFOOR, P.J.; NUNNERY, G.A.; SALYER, G.B.; GALYEAN, M.L. Effects of wet corn gluten feed and roughage levels on performance, carcass characteristics, and feeding behavior of feedlot cattle. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 85, p. 3079-3089, 2007.

PRIGGE, E.C.; FOX, J.T.; JACQUEMET, N.A.; RUSSELL, R.W. Influence of forage species and diet particle size on the passage of digesta and nylon particles from the reticulorumen of steers. **Journal of Animal Science**, Champaign, v.71, p. 2760-2769, 1993.

RYMER, C. The measurement of forage digestibility *in vivo*. In: Givens, D.I., OWENS, E.; AXFORD, R.F.E. (Ed.). **Forage evaluation in ruminant nutrition**. CAB International, 2000. p. 113-134.

SANTINI, F.J.; HARDIE, A.R.; JORGENSEN, N.A. Proposed use of adjusted intake based on forage particle length for calculation of roughage indexes. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 66, p. 811-820, 1983.

SAS INSTITUTE. **SAS/STAT user's guide**. Version 8.2. 5<sup>th</sup> ed. Cary: Statistical Analysis System Institute, 2001. 846p.

SCHWARTZKOPF-GENSWEIN, K.S.; BEAUCHEMIN, K.A.; BIBB, D.J.; CREWS, D.H.; HICKMAN, Jr.D.D.; STREETER, M.; McALLISTER, T.A. Effect of bunk management on feeding behavior, ruminal acidosis and performance of feedlot cattle: A review. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 81, p. E149-E158, 2003.

SHAIN, D.H.; STOCK, R.A.; KLOPFENSTEIN, T.J.; HEROLD, D.W. The effect of forage source and particle size on finishing yearling steer performance and ruminal metabolism. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 77, p. 1082-1092, 1999.

SILVA, D.J. **Análise de alimentos (métodos químicos e biológicos)**. Viçosa: UFV, Impr. Univ.,1981. 166p.

SUDWEEKS, E.M. Chewing time, rumen fermentation and their relationship in steers as affected by diet composition. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 44, p. 694-701, 1977.

TAYLOR, C.C.; ALLEN, M.S. Corn grain endosperm type and brown midrib 3 corn silage: feeding behavior and milk yield of lactating cows. **Journal of Animal Science**, Champaign,v. 88, p. 1425-1433, 2005.

THEURER, C.B.; SWINGLE, R.S.; WANDERLEY, R.C.; KATTNIG, R.M.; URIAS, A.; GHENNIWA, G. Sorghum grain flake density and source of roughage in feedlot diets. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 77, p. 1066-1073, 1999.

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**, Champaign, v. 74, p. 3583-3597, 1991.

VAN SOEST, P.J. **Nutritional ecology of the ruminant** 2<sup>nd</sup> ed. Ithaca, NY: Cornell University Press, 1994. 476p.

VASCONCELOS, J.T.; GALYEAN, M.L. Nutritional recommendation of feedlot consulting nutritionists: The 2007 Texas Tech University Survey. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 85, p. 2772 - 2781, 2007.

VIEIRA, R.A.M.; FERNANDES, A.M. The importance of quantitative studies associated to fiber for the nutrition and feeding of ruminants. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 35(Special Supplement), p. 258-290, 2006.

VIEIRA, R.A.M.; TEDESCHI, L.O.; CANNAS, A. A generalized compartmental model to estimate the fibre mass in the ruminoreticulum: 2. Integrating digestion and passage. **Journal of Theoretical Biology**, Tokyo, v, 255, p. 357-368, 2008.

WEIDNER, S.J.; GRANT, R.J. Altered ruminal mat consistency by high percentages of soybean hulls fed to lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 77, p. 522-532, 1994.

WELCH, J.G. Ruminal, particle size and passage from the rumen. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 54, n 4, p. 885-894, 1982.

WELCH, J.G.; SMITH, A.M. Effect of varying amounts of forage intake on rumination. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 28, p. 827-830, 1969.

WELCH, J.G.; SMITH, A.M. Forage quality and rumination time in cattle. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 53, p. 797, 1970.

WELCH, J.G.; SMITH, A.M. Physical stimulation of rumination activity. **Journal of Animal Science** Champaign,,v. 33, p. 1118-1127, 1971.

WILES, P.G.; GRAY, I.K.; KISSLING, R.C. Routine analysis of protein by Kjeldahl and Dumas Methods: review and interlaboratory study using dairy products. **Journal of AOAC International**, v.81, p. 620-632, 1998.

WOODFORD, S.T.; MURPHY, M.R. Effect of forage physical form on chewing activity, dry matter intake, and rumen function of dairy cows in early lactation. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 71, p. 674-686, 1988.

ZINN, R.A.; WARE, R.A. Forage quality: digestive limitations and their relationships to performance of beef and dairy cattle. **In:**ANNUAL SOUTHWEST NUTRITION & MANAGEMENT CONFERENCE, 22., , 2007. Tempe. **Proceedings...**Tempe, 2007. . p. 49 – 54

### 3 AVALIAÇÃO DA EFETIVIDADE FÍSICA DE FONTE DE FIBRA EM RAÇÕES DESTINADAS A BOVINOS DE CORTE

#### Resumo

Foram utilizados seis bovinos machos castrados da raça Nelore contendo cânula no saco dorsal do rúmen, alojados em gaiolas metabólicas, em delineamento do tipo quadrado latino 6x6, contendo 19 dias de período experimental cada. Seis rações foram formuladas com diferentes teores e fontes de fibra: CN (controle negativo – com 10% da fração FDN de silagem de milho); CP (controle positivo – com 20% da fração FDN de silagem de milho); e quatro rações contendo 10% da fração FDN de silagem de milho e 10% da fração FDN de cada uma das seguintes fontes: bagaço *in natura* de cana-de-açúcar (BAG), cana-de-açúcar (CAN), casca de soja (CSOJ) e torta de algodão desengordurada (TALG). Para estimar o fator de efetividade física (*fef*) ou fator de efetividade (*fe*) foram utilizados os métodos de bioensaio preconizado por Armentano e Pereira (1997). Além disso, foram utilizados métodos laboratoriais recomendados por Mertens (1997) e Lammers; Buckmaster; Heinrichs (1996) para estimar o fator de efetividade física de fontes de fibra ( $fef_{1,18}$  ou  $fef_{>8,0\text{ mm}}$ , respectivamente). Não houve diferença ( $P>0,05$ ) entre a efetividade física do alimento padrão, silagem de milho ( $fef = 100\%$ ) e os alimentos: bagaço *in natura* de cana-de-açúcar e cana-de-açúcar (116, 106% respectivamente) utilizando o tempo de mastigação em minutos por dia. Utilizando o tempo de mastigação em minutos por quilo de MS consumido e os valores de “mat” ruminal como cálculo para estimar o *fef*, bagaço *in natura* de cana-de-açúcar apresentou maior valor de efetividade física quando comparado à silagem de milho. Por outro lado, a casca de soja e a torta de algodão desengordurada apresentaram menores *fef* ( $P<0,05$ ) para todas as variáveis citadas anteriormente nos cálculos de efetividade física. Ao calcular o fator de efetividade física das fontes de fibra utilizando métodos laboratoriais, foi possível evidenciar grande divergência entre estes e os valores calculados pelos métodos de bioensaio. Medidas de efetividade física calculadas por meio de métodos laboratoriais ( $fef_{1,18}$  ou  $fef_{>8,0\text{ mm}}$ ) apresentaram baixa ou nenhuma correlação ( $P>0,05$ ) com tempo de ruminação, tempo de mastigação, pH ruminal e “mat” ruminal. Por outro lado, ao avaliar os *fef* calculados conforme Armentano e Pereira (1997), coeficientes de correlação adequados foram observados ( $P<0,05$ ) quando relacionados com tempo de ruminação, tempo de mastigação e “mat” ruminal. Equações de regressão envolvendo cálculos de efetividade física utilizando métodos laboratoriais e bioensaio foram sugeridas para que se pudesse oferecer aplicabilidade em condições de campo. Os resultados apresentados neste estudo reforçam a idéia de que cálculos envolvendo o fator de efetividade física ou fator de efetividade de determinada fonte de fibra é relativo apenas ao ingrediente que foi substituído e que valores de efetividade podem variar significativamente entre ingredientes.

Palavras-chave: Fator de efetividade física; Fator de efetividade; Fibra detergente neutro; Método de bioensaio; Método laboratorial

## Abstract

Six ruminally cannulated Nellore steers, housed in tie-stall barns, were used in a 6 x 6 Latin square design with 19 days of experimental periods each. Each experimental period consisted of 10 days of adaptation to the experimental diet and 9 days of data collection. Six diets were formulated with different contents and sources of fiber: NC (negative control - with 10% of the NDF fraction from corn silage), PC (positive control - with 20% of the NDF fraction from corn silage) and four diets containing 10% of NDF fraction from corn silage and 10% of the NDF fraction from each the following sources: sugarcane (SC), sugarcane bagasse (SCB), soybean hulls (SH) and high oil – cottonseed meal (HOCM). To estimate physical effectiveness factor (*pef*) or effectiveness factor (*fe*), bioassay methods recommended by Armentano and Pereira (1997) were used. Also, laboratory methods recommended by Mertens (1997) and Lammers; Buckmaster, Heinrichs (1996) to estimate the effectiveness factor of physical fiber sources (*pef*<sub>1.18</sub> or *pef*<sub>>8.0mm</sub>, respectively) were used. No differences in physical effectiveness were observed ( $P > 0.05$ ) between the standard fiber source (corn silage, *pef* = 100%) and the following feed: sugarcane bagasse and sugarcane (116, 106%, respectively) considering chewing time in minutes per day. Using chewing time in minutes per kg of DM consumed and ruminal mat values for estimating *pef*, sugarcane bagasse showed higher physical effectiveness when compared to corn silage. On the other hand, soybean hulls and high oil – cottonseed meal had lower ( $P < 0.05$ ) *pef* for all variables previously mentioned in calculations of physical effectiveness. There was a large discrepancy between physical effectiveness factor of fiber sources when calculated by laboratory or bioassay methods. Measurements of physical effectiveness calculated by laboratory methods (*pef*<sub>1.18</sub> or *pef*<sub>>8.0mm</sub>) showed low or no correlation ( $P > 0.05$ ) with rumination time, chewing time, rumen pH and ruminal mat. On the other hand, when *pef* was calculated according to Armentano and Pereira (1997), appropriate correlation coefficients were observed ( $P < 0.05$ ) between *pef* and rumination time, chewing time and ruminal mat. Regression equations involving calculations of physical effectiveness using laboratorial methods and bioassays have been proposed to provide applicability in field conditions. Results presented in this study reinforce the idea that calculations involving physical effectiveness factor or effectiveness factor of a particular source of fiber is only related to the ingredient that was replaced and that the values of effectiveness may vary significantly between ingredients.

Keywords: Physical effectiveness factor; Effectiveness factor; Neutral detergent fiber bioassay methods; Laboratory methods

### 3.1 Introdução

Atualmente, há tendência crescente em se utilizar maiores quantidades de ingredientes concentrados em rações de bovinos de corte e este comportamento pode ser justificado por várias razões. Inicialmente, o custo por megacaloria de energia normalmente é, em geral, menor para grãos de cereais, além de fornecer maior energia líquida de ganho (ELg), em comparação aos volumosos. Em adição, taxas de ganho de peso são alcançadas mais facilmente com rações ricas em grãos, reduzindo o período de tempo em que os animais são alimentados e conseqüentemente, reduzindo os custos no capital investido no animal. Além disso, rações contendo altas inclusões de grãos favorecem maiores deposições de gordura de forma mais rápida em carcaças mais leves o que é bastante desejável na indústria de carne (OWENS, 2008a).

Por outro lado, o fornecimento de rações com teores insuficientes em fibra pode resultar em acúmulo de ácidos graxos de cadeia curta (AGCC) no ruminorretículo e desencadear sintomas de acidose (BARKER et al., 1995). Este distúrbio metabólico promove implicações negativas sobre o desempenho e a saúde dos animais, com efeitos deletérios sobre a ingestão de alimentos, inibindo a degradação da fibra e a síntese microbiana (GRANT; MERTENS, 1992; OWENS, 2008b). Em contrapartida, a excessiva quantidade de fibra em rações para bovinos pode limitar o consumo de matéria seca por efeito de repleção ruminal e, conseqüentemente, diminuir o desempenho animal (VAN SOEST, 1994).

É reconhecido que fontes de fibra oriunda de forragem (FFF) ou de fontes de fibra não forragem (FFNF) (co-produtos) diferem consideravelmente quanto a sua efetividade física (CLARK; ARMENTANO, 1997). Este efeito é conseqüência direta das diferenças entre tamanhos de partículas, gravidade específica, tempo de mastigação total (ingestão e ruminação), tempo de retenção ruminal e, conseqüentemente, cinética ruminal (GRANT, 1997).

Atualmente, cada vez mais se tem utilizado FFNF (co-produtos) em substituição a FFF em rações de bovinos de corte em terminação (ZINN; WARE, 2007). No Brasil, estatísticas revelam que 79,7% dos confinamentos utilizam FFNF, com níveis de inclusão variando entre 5% a 50% na MS da ração total (MILLEN et al., 2009). De forma

similar, de acordo com dados levantados por Vasconcelos e Galyean (2007), a média de produtores americanos que utilizam co-produtos em rações para bovinos de corte em terminação é de 82,76%. Também, estes autores reportaram média de 5 a 50% de inclusão de co-produtos da agroindústria na ração total (% na MS), demonstrando grande importância destas fontes de alimento em substituição a volumosos tradicionais na alimentação de bovinos confinados. Neste cenário, a quantificação da efetividade física de volumosos e de co-produtos permitiria a comparação de fontes de fibra em uma mesma escala relativa, tornando possível auxiliar produtores e técnicos a realizar substituições entre diferentes fontes.

O fator de efetividade física (*fef*) da fração FDN de um ingrediente pode ser determinado mediante testes de bio-ensaio (ARMENTANO E PEREIRA, 1997), utilizando respostas de animais como tempo de mastigação total, valores de pH ruminal e “mat ruminal”, ou por meio de testes laboratoriais, não havendo neste caso a participação do animal, mas apenas a quantificação da proporção do alimento retido em peneira com orifício de 1,18 mm (MERTENS, 1997) ou a quantificação da proporção do alimento retido em peneiras contendo 19 e 8 mm de porosidade (LAMMERS; BUCKMASTER; HEINRICHS, 1996). Como consequência, diferentes metodologias podem gerar valores distintos de *fef* para um mesmo ingrediente, dificultando a utilização do conceito de fibra detergente neutro fisicamente efetivo (FDN<sub>fe</sub>).

Vários estudos utilizando métodos laboratoriais para medir a efetividade física de fontes de fibra têm sido reportados recentemente objetivando relacionar mudanças em valores de FDN fisicamente efetivo (FDN<sub>fe</sub>) com alterações no consumo voluntário de matéria seca, tempo de mastigação e pH ruminal em bovinos (YANG; BEAUCHEMIN; RODE, 2001; KRAUSE; COMBS; BEAUCHEMIN, 2002; YANG; BEAUCHEMIN, 2005; ZEBELI et al., 2006). Entretanto, resultados tem se apresentado conflitantes demonstrando que medidas de FDN<sub>fe</sub> oriundo de métodos laboratoriais, em alguns casos, foram preditores impreciso do tempo de mastigação e pH ruminal em bovinos, impossibilitando assim a sua utilização. Nesse cenário, objetiva-se com este trabalho quantificar o fator de efetividade física de fontes de fibra utilizando métodos envolvendo avaliações biológicas e laboratoriais, além de avaliar a magnitude entre tais procedimentos metodológicos.

## 3.2 Desenvolvimento

### 3.2.1 Local do experimento

O experimento foi realizado no Departamento de Zootecnia da USP/ESALQ, em Piracicaba – SP.

### 3.2.2 Desenho experimental

Adotou-se o delineamento em quadrado latino 6x6 para realização desse experimento.

Os tratamentos utilizados para avaliação consistiram em teor e fontes de fibra forragem ou não forragem (co-produtos) em rações para bovinos de corte, sendo:

- **Controle negativo (CN)** = inclusão de 10% da fração FDN de silagem de milho (com base na matéria seca da ração total);
- **Controle positivo (CP)** = inclusão de 20% da fração FDN de silagem de milho (com base na matéria seca da ração total);
- **Cana-de-açúcar (CAN)** = inclusão de 10% da fração FDN de cana-de-açúcar somado a inclusão de 10% da fração FDN de silagem de milho;
- **Bagaço de cana-de-açúcar *in natura* (BAG)** = inclusão de 10% da fração FDN de bagaço *in natura* de cana-de-açúcar em adição a inclusão de 10% da fração FDN de silagem de milho;
- **Casca de soja (CSOJ)** = inclusão de 10% da fração FDN de casca de soja em adição a inclusão de 10% da fração FDN de silagem de milho;
- **Torta de algodão desengordurada (TALG)** = inclusão de 10% da fração FDN de torta de algodão desengordurada em adição a inclusão de 10% da fração FDN de silagem de milho;

Com exceção do tratamento CN, todos os demais tratamentos apresentaram o mesmo teor da fração FDNf (FDN oriundo de fonte de fibra).

Foram realizados seis períodos experimentais de 19 dias cada, sendo 10 dias para adaptação às rações e nove dias de avaliação e colheita de amostras, totalizando 114 dias de experimento.

### **3.2.3 Animais utilizados e rações experimentais**

Foram utilizados seis bovinos machos castrados da raça Nelore, com peso médio inicial de  $408 \pm 12$  kg, contendo cânula no saco dorsal do rúmen, alojados em gaiolas metabólicas individuais do tipo tie-stall, com 1,05 m de largura e 2,10 m de comprimento, providas de bebedouro automático, comedouro, piso emborrachado e canaleta com caixa coletora de fezes.

Foi administrada aos animais injeção subcutânea de ivermectina no início do primeiro e terceiro período, de acordo com a recomendação do fabricante. Os animais foram pesados no início e final de cada período experimental.

As rações experimentais foram formuladas com base na composição em matéria seca, utilizando o NRC (1996), visando atender à exigência de proteína degradável no rúmen e proteína metabolizável (tabela 3.1).

Tabela 3.1 – Proporções dos ingredientes das rações experimentais

Alimentos	Ração (% na MS) <sup>1,2</sup>					
	CN	CP	BAG	CAN	CSOJ	TALG
Silagem de milho	19,9	39,8	19,9	19,9	19,9	19,9
Milho moído fino	76,2	56,2	63,6	54,4	63,0	57,1
Bagaço <i>in natura</i> de cana-de-açúcar	-	-	12,3	-	-	-
Cana-de-açúcar	-	-	-	21,3	-	-
Casca de soja	-	-	-	-	13,3	-
Torta de algodão desengordurada	-	-	-	-	-	20,3
Calcário	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Núcleo mineral	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Uréia	2,1	2,2	2,4	2,5	2,0	0,85
Níveis nutricionais						
NDT	74,21	70,00	68,12	69,14	72,58	74,59
FDN	20,12	29,21	28,22	27,02	27,92	28,62
FDNF/FDNNF <sup>3</sup>	10,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
PB	13,00	13,00	13,00	13,00	13,00	13,00

<sup>1</sup> Dietas: CN = controle negativo; CP = controle positivo; BAG = bagaço de cana-de-açúcar; CAN = Cana de açúcar *in natura*; CSOJ = Casca de soja; TALG = Torta de algodão desengordurada.

<sup>2</sup> Utilizou-se 25 ppm de monensina sódica como parte do concentrado de cada tratamento experimental.

<sup>3</sup>FDNF ou FDNNF = Fibra detergente neutro oriundo de forragem (silagem de milho, bagaço *in natura* de cana-de-açúcar ou cana-de-açúcar) e fibra detergente neutro não forragem (casca de soja ou torta de algodão desengordurada)

Todas as rações experimentais foram compostas por silagem de milho como ingrediente padrão, sendo que: controle negativo (inclusão de 10% da fração FDN de silagem de milho) e controle positivo (inclusão de 20% da fração FDN de silagem de milho), os quatro tratamentos restantes continham a inclusão de 10% da fração FDN de silagem de milho em adição a inclusão de 10% da fração FDN de cada fonte de fibra a ser testada (cana-de-açúcar *in natura*, bagaço *in natura* de cana-de-açúcar, casca de soja e torta de algodão desengordurada) (figura 2.1).

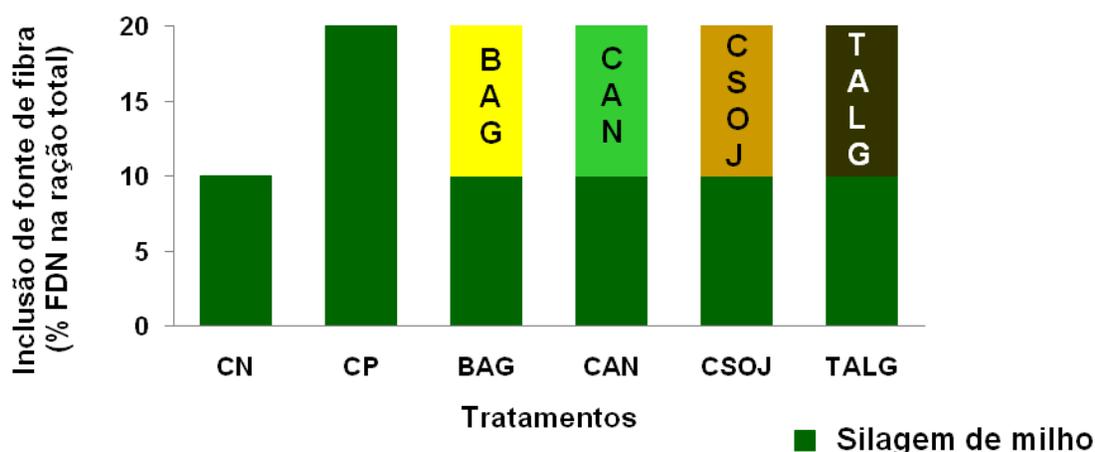


Figura 3.1 - Rações experimentais: CN = controle negativo; CP = controle positivo; BAG = bagaço *in natura* de cana-de-açúcar; CAN = cana-de-açúcar *in natura*; CSOJ = casca de soja; TALG = torta de algodão desengordurada

A composição química dos ingredientes das rações experimentais está apresentada na tabela 3.2. A mistura dos ingredientes concentrados foi realizada de forma manual, a cada dia, para cada animal/tratamento usando-se o milho grão finamente moído, uréia e núcleo mineral, além da inclusão de ionóforo (25 ppm de monensina sódica) como parte do concentrado de cada tratamento experimental.

Tabela 3.2 – Composição química dos ingredientes das rações experimentais

Variáveis	Dietas (% na MS)					
	Silagem milho	Milho moído fino	Bagaço de cana	Cana-de-açúcar	Casca soja	Torta algodão
Materia seca, %	35,56	89,85	50,40	31,04	94,48	81,22
PB, %MS	7,75	8,45	2,83	3,91	10,45	25,70
EE, %MS	3,16	3,71	0,80	1,21	1,48	10,80
FDN, %MS	57,49	11,55	74,06	43,49	69,03	51,98
FDA, %MS	36,35	3,70	62,48	30,41	55,53	35,96
Lignina, %MS	4,52	1,49	13,93	5,61	3,38	11,18
CNF, %MS <sup>1</sup>	27,07	75,01	0,65	47,29	15,62	7,80
Cinzas, %MS	4,53	1,28	3,80	4,10	3,42	3,72

<sup>1</sup> CNF - Carboidrato não fibroso = 100 – (fibra insolúvel em detergente neutro + proteína bruta + extrato etéreo + matéria mineral)

No momento do fornecimento das rações, as fontes de fibra forragem ou não forragem e os concentrados foram pesados e homogêneos para cada animal

individualmente. Os animais receberam as rações experimentais em mistura total uma vez ao dia (08:00 horas) em quantidade suficiente para permitir cerca de 5% de sobras de cocho.

A quantidade da ração fornecida diariamente, bem como as sobras em cada tratamento, foi quantificada durante todo o período experimental (19 dias), sendo que para os cálculos de consumo utilizou-se apenas o período entre o décimo primeiro dia ao décimo nono dia de avaliação de cada período.

### **3.2.4 Cálculos para estimar o fator de efetividade física ou efetividade por diferentes métodos**

Para estimar o fator de efetividade física (*fef*) ou fator de efetividade (*fe*) foram utilizados os métodos de bioensaio preconizado por Armentano e Pereira (1997). Também, utilizaram-se métodos laboratoriais recomendados por Mertens (1997) e Lammers; Buckmaster; Heinrichs (1996) para estimar o fator de efetividade física de fontes de fibra.

No método de Armentano e Pereira (1996) foi avaliada uma ração com teor adequado da fração FDN da forragem padrão (controle positivo), uma ração com nível sub-ótimo da fração FDN da forragem padrão (controle negativo) e a ração teste. Na ração teste o nível de inclusão da fração FDN da forragem padrão é semelhante ao controle negativo (10% da fração FDN de silagem de milho) e o ingrediente teste é incluído até atingir o nível da fração FDN do controle positivo (20% da fração FDN de silagem de milho), conforme apresentado na figura 3.2. Neste método, a silagem de milho é utilizada como ingrediente padrão e seu *fef* é assumido como sendo igual a 100% e, para o milho grão moído fino (tamanho médio de partícula de 1 mm) o *fef* é assumido como sendo igual a zero.

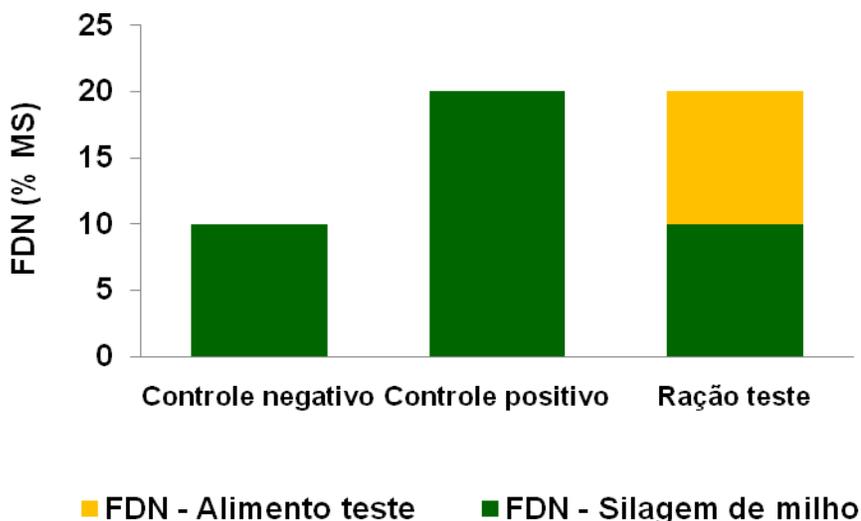


Figura 3.2 - Delineamento utilizado para determinação do fator de efetividade física ou efetividade de um ingrediente teste em relação a um ingrediente padrão, de acordo com a metodologia de bioensaio proposta por Armentano e Pereira (1997)

Conceitualmente o aumento da resposta animal (tempo de mastigação, pH ruminal, medidas de consistência do “mat” ruminal, etc.) por unidade de aumento da fração FDN do ingrediente teste, em relação à resposta animal por unidade de aumento da fração FDN do ingrediente padrão, define o fator de efetividade física ou efetividade. Dessa forma, os cálculos foram elaborados de acordo com a razão das inclinações das regressões (coeficientes angulares) envolvendo o teor da fração FDN no eixo das abscissas e a resposta animal, como exemplo o comportamento ingestivo (minutos por dia), no eixo das ordenadas. Assim, as retas se originam da ração com controle negativo, chegando até a ração com controle positivo ou da ração teste (ingrediente a ser testado) (figura 3.3).

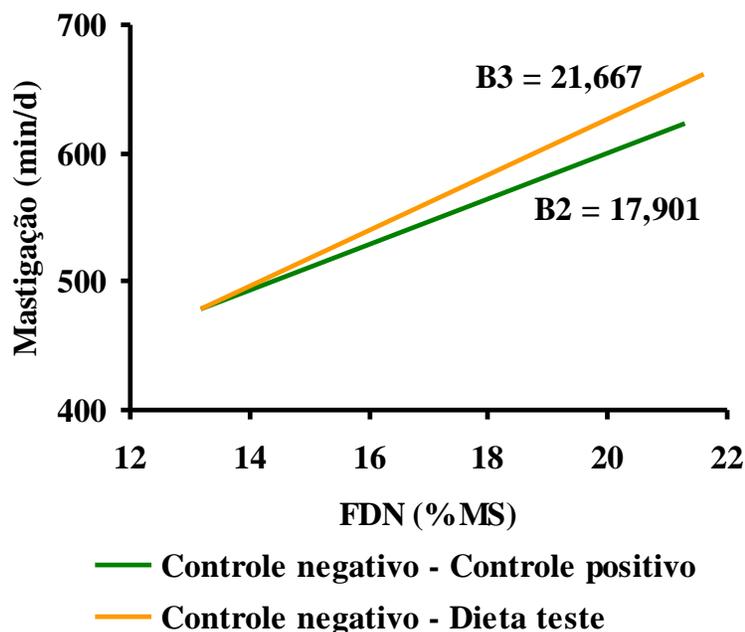


Figura 3.3 – Correlações entre o tempo de mastigação em minutos por dia e o teor da fração FDN da forragem (% na MS). As retas se originam da ração controle negativo, chegando até a ração controle positivo (laranja) e da ração controle negativo até a ração teste (ingrediente a ser testado) (verde)

Assumindo que a atividade de mastigação é igual para todas as partículas retidas em peneira contendo 1,18 mm de porosidade, Mertens (1997) propôs um método laboratorial para estimar o teor de FDN<sub>fe</sub>. Dessa forma, neste trabalho, os cálculos da fração FDN<sub>fe>1,18mm</sub> foram realizados multiplicando o teor da fração FDN do alimento teste pela proporção das partículas retidas em peneiras de 1,18 mm de porosidade, utilizando técnica de peneira seca.

Também, por ser considerada atualmente uma ferramenta de grande importância para o meio acadêmico e para produtores que buscam avaliar o tamanho de partícula de forragens e rações totais, foi realizado o cálculo do teor da fração FDN<sub>fe>8,0 mm</sub> utilizando o conjunto de peneiras do *Penn State Particle Size* (LAMMERS; BUCKMASTER; HEINRICHS, 1996). Esse método foi realizado multiplicando a proporção da MS retida entre as peneiras de 19 e 8 mm de porosidade pelo teor da fração FDN da mesma de acordo com Lammers; Buckmaster; Heinrichs (1996).

Cálculos de efetividade física utilizados em condições de campo (métodos laboratoriais) e medidas de efetividade oriundas de bioensaio foram empregados na realização de equações de regressão. Com o auxílio do “proc reg” do programa estatístico SAS (2001) foram geradas equações lineares entre as diferentes variáveis utilizadas para o desenvolvimento dos fatores de efetividade física por meio do método proposto por Armentano e Pereira (1997) e os *fef* gerados pelos métodos laboratoriais (MERTENS, 1997 e LAMMERS; BUCKMASTER; HEINRICHS, 1996).

Para a construção das equações de regressão linear, foi avaliado primeiramente se o modelo construído, entre o método laboratorial e determinada variável utilizada no cálculo da técnica de bioensaio apresentou correlação significativa. Caso confirmado a diferença estatística ao nível de 5%, o segundo passo foi a construção de regressões em que a variável dependente foi o *fef* oriundo do método de bioensaio e a variável independente representado pelo método laboratorial, no intuito de sugerir equações de regressões que pudessem oferecer aplicabilidade em condições de campo, sem perder, no entanto, a alta correlação com medidas que envolvessem respostas dos animais.

### 3.2.5 Análise estatística

A análise estatística foi realizada para delineamento experimental em quadrado latino 6 x 6 utilizando o procedimento MIXED do SAS (SAS, 2001) incluindo no modelo, efeitos de tratamento, período e animal.

Modelo estatístico:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + P_j + T_k + e_{ijk}$$

em que:

$\mu$  = média geral;

$A_i$  = efeito de animal ( $i = 1$  a  $7$ );

$P_j$  = efeito de período ( $j = 1$  a  $7$ );

$T_k$  = efeito de tratamento ( $k = 1$  a  $7$ );

$E_{ijk}$  = resíduo aleatório.

Para comparação das médias de consumo, comportamento ingestivo e medidas envolvendo o estudo de efetividade física ou efetividade foram utilizadas as Médias dos Quadrados Mínimos mediante procedimento MIXED do SAS, considerando que os efeitos de período e animais são aleatórios, o que compõe um modelo misto. Da mesma forma, o pH ruminal teve suas médias comparadas pelo procedimento MIXED, como avaliações repetidas no tempo.

Correlações foram estabelecidas pelo procedimento CORR do SAS e regressões lineares foram desenvolvidas utilizando o procedimento REG do SAS.

Para rejeição ou aceitação no teste de hipóteses, foi utilizado nível de probabilidade de 5% ( $P < 0,05$ ).

Utilização e cuidados adotados com os animais estavam em conformidade com a legislação pertinente quanto aos princípios éticos na experimentação com animais, conforme parecer da Comissão de Ética da instituição em que foi realizada a pesquisa.

### **3.3 Resultados e Discussão**

#### **3.3.1 Quantificação da efetividade física e efetividade de diferentes fontes de fibra**

Na tabela 3.3 estão apresentados os coeficientes de efetividade física de diferentes fontes de fibra, calculados por meio do método de bioensaio proposto por Armentano e Pereira (1997). Neste método, a silagem de milho foi utilizada como ingrediente padrão e o fator de efetividade física (*fef*) deste alimento foi assumido como sendo igual a 100% e para os demais ingredientes das rações experimentais, uréia, minerais e milho grão moído fino (tamanho médio de partícula de 1,0 mm) o *fef* foi assumido como sendo igual a zero.

Neste trabalho, para a realização dos cálculos do *fef* envolvendo o método de bioensaio foram investigadas diversas variáveis envolvendo resposta animal, como por exemplo: o tempo de mastigação em minutos por dia, o tempo de mastigação em minutos por quilo de MS consumida, o tempo de mastigação em minutos por quilo de FDN consumida, o tempo de mastigação em minutos por quilo de FDN oriundo de

ferragem consumida, o consumo de FDN oriundo de ferragem em quilos por dia, o pH ruminal e a consistência do “mat ruminal”.

De acordo com Clark e Armentano (1993) a precisão do cálculo do *fef* depende da amplitude de variação do erro padrão de cada variável estudada (por exemplo, tempo de mastigação). Nesse sentido, como demonstrado nas tabelas 3.3 e 3,5, apenas quatro variáveis apresentaram resultados satisfatórios, ou seja, baixo erro padrão e respostas consistentes quanto aos valores das inclinações das regressões (coeficiente angular) (figura 3.4).

Tabela 3.3 - Coeficientes de efetividade física da fração fibra detergente neutro utilizando método de bioensaio

Variáveis	Fontes de fibra <sup>1</sup>					
	SIM	BAG	CAN	CSOJ	TALG	EPM <sup>4</sup>
<b>Mastigação, min/dia</b>						
Inclinação	20,33 <sup>a</sup>	22,00 <sup>a</sup>	20,66 <sup>a</sup>	3,00 <sup>c</sup>	14,83 <sup>b</sup>	1,51
<i>fef</i> , % <sup>2</sup>	100,0 <sup>a</sup>	116,0 <sup>a</sup>	106,0 <sup>a</sup>	0,0 <sup>c</sup>	68,0 <sup>b</sup>	0,10
FDNfe <sub>(mast., min/dia)</sub> , % na MS <sup>3</sup>	57,50 <sup>b</sup>	86,00 <sup>a</sup>	46,25 <sup>bc</sup>	7,25 <sup>d</sup>	36,35 <sup>c</sup>	6,12
<b>Mastigação, min/kg de MS</b>						
Inclinação	1,47 <sup>b</sup>	3,10 <sup>a</sup>	1,64 <sup>b</sup>	0,24 <sup>c</sup>	0,83 <sup>bc</sup>	0,28
<i>fef</i> , % <sup>2</sup>	100,0 <sup>b</sup>	250,0 <sup>a</sup>	120,0 <sup>b</sup>	0,0 <sup>c</sup>	45,0 <sup>c</sup>	0,17
FDNfe <sub>(mast., min/kg de MS)</sub> , % na MS <sup>3</sup>	57,49 <sup>b</sup>	182,92 <sup>a</sup>	52,33 <sup>b</sup>	4,48 <sup>c</sup>	23,30 <sup>bc</sup>	12,84
<b>"Mat" ruminal</b>						
Inclinação	112,1 <sup>b</sup>	149,1 <sup>a</sup>	166,1 <sup>a</sup>	6,89 <sup>d</sup>	64,60 <sup>c</sup>	12,3
<i>fef</i> , % <sup>2</sup>	100,0 <sup>b</sup>	135,0 <sup>a</sup>	150,0 <sup>a</sup>	0,0 <sup>d</sup>	61,0 <sup>c</sup>	0,11
FDNfe <sub>("mat" ruminal)</sub> , % na MS <sup>3</sup>	57,49 <sup>b</sup>	100,10 <sup>a</sup>	65,45 <sup>b</sup>	3,22 <sup>d</sup>	31,45 <sup>c</sup>	6,76

<sup>1</sup>SIM = Silagem de milho; BAG = Bagaço *in natura* de cana-de-açúcar; CAN = Cana-de-açúcar *in natura*; CSOJ = Casca de soja; TALG = Torta de algodão desengordurada. Valores das inclinações foram calculados da seguinte maneira: SIM = Silagem de milho (relação entre controle negativo e controle positivo) e os demais alimentos testes (BAG, CAN, CSOJ, TALG) utilizando-se a relação entre controle negativo e cada ingrediente teste

<sup>2</sup>*fef* = fator de efetividade física utilizando o método proposto por Armentano e Pereira (1997); *fef*<sub>(mast., min/dia)</sub> = cálculo utilizando o tempo de mastigação em minutos por dia; *fef*<sub>(mast., min/kg de MS)</sub> = cálculo utilizando o tempo de mastigação em minutos por quilo de matéria seca; *fef*<sub>("mat" ruminal)</sub> = \*cálculo utilizando o tempo de deslocamento do peso inserido internamente ao rúmen em segundos (WELCH, 1982);

<sup>3</sup>FDNfe = Fibra detergente neutro fisicamente efetiva

<sup>4</sup>EPM = Erro padrão da média

<sup>ab</sup> Letras distintas na mesma linha indicam diferença estatística pelo teste LSMeans ao nível de 5%.

Não houve diferença ( $P > 0,05$ ) entre a efetividade física do alimento padrão, silagem de milho ( $fef = 100\%$ ) e os alimentos: bagaço *in natura* de cana-de-açúcar e a cana-de-açúcar (116, 106% respectivamente) utilizando o tempo de mastigação em minutos por dia para os alimentos (figura 3.4 e tabela 3.3). Por outro lado, co-produtos

como a casca de soja e a torta de algodão desengordurada apresentaram menores valores dos *fef* (zero e 68%, respectivamente) ( $P < 0,05$ ) quando comparados com FFF, sendo a torta de algodão desengordurada mais efetiva em estimular a mastigação em minutos por dia ( $P < 0,05$ ) quando comparada com a casca de soja.

Em termos práticos, de acordo com os valores da fração FDN<sub>fe</sub> observados na tabela 3.3, é possível estabelecer algumas inferências. Neste trabalho, o bagaço *in natura* de cana-de-açúcar continha 74,06% de FDN (% na MS) e foi 16% mais efetivo que a silagem de milho resultando no valor de 86,00% de FDN<sub>fe(mast., min/dia)</sub> (% na MS) ( $74,06 \times 116\%$ ). Teoricamente, 0,67 kg de bagaço *in natura* de cana-de-açúcar podem substituir 1,0 kg de silagem de milho contendo 57,50% de FDN<sub>fe(mast., min/dia)</sub> (% na MS). Em contrapartida, seria necessário incluir 1,58 kg de torta de algodão desengordurada para substituir 1 kg de silagem de milho, visto que o *fef* da torta de algodão desengordurada apresentou apenas 36,35% de efetividade física em comparação à silagem de milho.

Como observado na tabela 3.3, além do tempo de mastigação em minutos por dia, outras duas variáveis envolvendo a resposta animal foram utilizadas para estimar a efetividade física dos alimentos avaliados.

Utilizando o tempo de mastigação em minutos por quilo de MS consumido, observou-se elevado valor de efetividade física para o bagaço *in natura* de cana-de-açúcar (250%) (tabela 3.3). Por outro lado, cana-de-açúcar demonstrou possuir *fef* semelhante ( $P > 0,05$ ) a silagem de milho, mesmo assim, em termos numéricos, um aumento de 20% foi observado no *fef* da cana-de-açúcar em comparação ao alimento padrão (silagem de milho). Novamente, co-produtos como a casca de soja e a torta de algodão desengordurada, apresentaram menor *fef* (0,0 e 45,0%) ( $P < 0,05$ ) quando comparado com a silagem de milho.

De acordo com Armentano e Pereira (1997) é possível calcular o *fef* de um ingrediente utilizando a consistência do “mat” ruminal, justificando que tal variável seria outra medida interessante envolvendo resposta física de determinada fonte fibrosa. Entretanto, deve-se ressaltar que medidas utilizando a consistência do “mat” ruminal são difíceis de serem realizadas, tornando-se restritas apenas a ensaios experimentais envolvendo pequenos números de animais providos de cânula ruminal.

Dessa forma, utilizando o método proposto por Welch (1982) foi possível determinar a consistência do “mat” ruminal por meio do tempo de ascensão do peso inserido dentro do rúmen em segundos (ver capítulo 2, tabela 2.10). Assim, utilizando os cálculos sugeridos por Armentano e Pereira (1997) calculou-se a inclinação das regressões, os *fef*, bem como os valores da fração  $FDN_{fe}(\text{“mat” ruminal})$  em % na MS (tabela, 3.3 e figura 3.4).

Diferenças foram observadas ( $P < 0,05$ ) nas inclinações das regressões calculadas por meio dos valores envolvendo a consistência do “mat” ruminal entre as fontes de fibra avaliadas, salvo exceção apenas para o bagaço *in natura* de cana-de-açúcar e cana-de-açúcar que apresentaram resultados semelhantes ( $P > 0,05$ ) (tabela, 3.3 e figura 3.4).

Quanto às estimativas do *fef* utilizando os valores do “mat” ruminal como cálculo, a substituição de 10% de FDN de silagem de milho, por 10% de FDN de bagaço *in natura* de cana-de-açúcar ou por 10% de cana-de-açúcar apresentaram resultados semelhantes ( $P > 0,05$ ), mas superiores (135,0 e 150,0, respectivamente) ao alimento padrão representados pela silagem de milho (100,0). Comparado a silagem de milho, torta de algodão desengordurada demonstrou possuir 60% de efetividade física quando calculada utilizando medidas de “mat” ruminal. Por outro lado, a casca de soja revelou-se ineficiente em promover a formação do “mat” ruminal, apresentando *fef* de zero por cento. Tal comportamento está de acordo com os resultados envolvendo o tempo de mastigação apresentados em minutos por dia na tabela 2.5 referente ao Capítulo 2. Mesmo substituindo 10% de FDN de silagem de milho por casca de soja em rações contendo 20% de FDN na RT (tratamento CSOJ), rações contendo apenas 10% de FDN de silagem de milho na RT, apresentaram resultados semelhantes em termos de tempo de mastigação, confirmando a ausência de efetividade da casca de soja em auxiliar a formação do “mat” ruminal e conseqüentemente estimular a mastigação. Entretanto, vale ressaltar que mesmo a torta de algodão desengordurada apresentando menor TMP (tabela 2.8, capítulo 2) e por sua vez menor TMP na ração total (tabela 2.9, capítulo 2) em comparação a outras FFF avaliadas, este ingrediente demonstrou ser efetivo na formação do “mat” ruminal e, conseqüentemente, efetivo em estimular a

ruminação e mastigação em bovinos (tabela 2.5, capítulo 2), podendo ser usado estrategicamente na formulação de rações com sucesso na oferta de fibra efetiva.

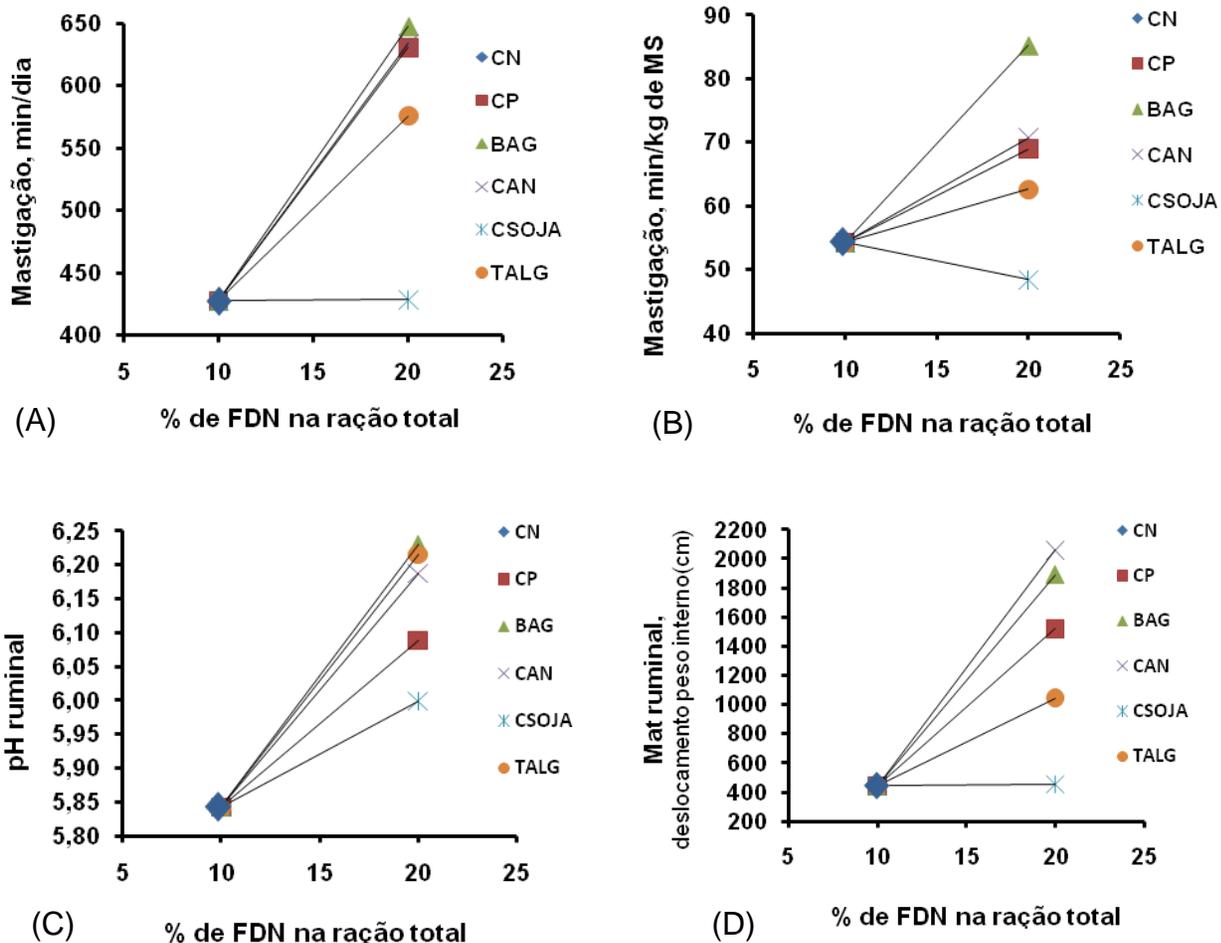


Figura 3.4 - Coeficientes angulares, inclinações das regressões, entre o tempo de mastigação em minutos por dia (A); o tempo de mastigação em minutos por quilo de matéria seca (B); o pH ruminal médio (C); o “mat” ruminal (deslocamento do peso interno em centímetro) (D) e os teores das frações da fibra detergente neutro de rações contendo fontes de fibra (controle negativo – 10% de FDN de silagem de milho e controle positivo – 20% de FDN de silagem de milho ou 10% de FDN de silagem de milho mais 10% de FDN do alimento teste)

Importante ressaltar que ao avaliar as recomendações propostas pelo NRC (1996) e NRC (2001) quanto a efetividade de co-produtos, estes sistemas sugerem valor de 50%. Outro fato curioso é que estes sistemas utilizam o conceito de

efetividade de forma equivocada, uma vez que esses dados foram oriundos de medidas utilizando peneira contendo orifício de 1,18 mm de porosidade, ou seja, uma medida física da fibra, não podendo ser chamado de efetividade ou FDN efetivo, mas sim, efetividade física e FDN fisicamente efetivo.

Allen (1997), utilizando relações empíricas entre a fração FDN oriunda de forragens e FDN oriundo de fontes de fibra não forragem (FDNNF), descreveu que a FDNNF (co-produtos fibrosos) foi apenas 35% efetiva em manter o pH ruminal quando comparado com o FDN oriundo de forragem. Utilizando dados de mastigação para a realização dos cálculos do *fef*, Mertens (1997) concluiu que a FDNNF gerou valores de aproximadamente 40% e, para outros co-produtos, estes estiveram entre 30 e 80% quando comparados com a efetividade típica da FDN de forragens. Assim, é possível evidenciar que existe grande variação de resultados na literatura envolvendo valores de efetividade física de co-produtos, confirmando, dessa forma, os resultados encontrados no presente estudo ao avaliar a casca de soja e a torta de algodão desengordurada.

Mertens (1997) reportou que a atividade de mastigação ou qualquer outra variável que envolva medidas biológicas produzem resultados adequados quanto à efetividade física da fibra. Entretanto, este mesmo autor mencionou que para determinado sistema possa ser considerado funcional, seria necessário criar um procedimento de avaliação de fácil aplicação prática, podendo ser utilizado rotineiramente em laboratório, ou mesmo em propriedades rurais, no caso de medidas envolvendo o conceito da fração FDN<sub>fe</sub>. Este método poderia estimar o valor da fração FDN<sub>fe</sub> por meio de medidas físicas e químicas no laboratório ou no campo, utilizando a concentração da fração FDN de determinado alimento e a proporção de partículas que fosse retidas em peneiras de 1,18 mm de porosidade, usando técnica de peneira seca (MERTENS, 1997). De acordo com este método, as partículas seriam estratificadas por tamanho e o desenvolvimento dessa estratificação teve como base o trabalho de Poppi e Norton (1980) dos quais observaram que menos de 5% das partículas de fezes de ovinos e bovinos passaram pelo orifício de uma peneira de 1,18 mm, concluindo que partículas retidas em peneiras com esta porosidade teriam alta resistência para passar pelo orifício retículo-omasal, cujo diâmetro é semelhante (1,18 mm) estimulando assim a atividade de mastigação.

Na tabela 3.4 estão apresentados os coeficientes de efetividade física das fontes de fibra estudadas, calculados por meio de métodos laboratoriais sugeridos por Mertens (1997) e Lammers; Buckmaster; Heinrichs, (1996).

Tabela 3.4 - Coeficientes de efetividade física da fração fibra detergente neutro utilizando métodos laboratoriais

Variáveis	Fontes de fibra <sup>1</sup>					
	SIM	BAG	CAN	CSOJ	TALG	EPM <sup>4</sup>
<b>Método proposto por Mertens (1997)</b>						
<i>fef</i> <sub>&gt;1,18 mm</sub> , % <sup>2</sup>	95,4 <sup>a</sup>	59,4 <sup>d</sup>	88,2 <sup>b</sup>	70,9 <sup>c</sup>	86,6 <sup>b</sup>	1,03
FDNfe <sub>&gt;1,18 mm</sub> , % na MS <sup>3</sup>	71,93 <sup>a</sup>	46,98 <sup>c</sup>	64,62 <sup>b</sup>	38,57 <sup>d</sup>	64,52 <sup>b</sup>	1,39
<b>Método proposto por Lammers; Buckmaster; Heinrichs et al. (1996)</b>						
<i>fef</i> <sub>&gt;8,0 mm</sub> , % <sup>2</sup>	86,9 <sup>a</sup>	63,3 <sup>d</sup>	77,1 <sup>b</sup>	20,0 <sup>e</sup>	72,1 <sup>c</sup>	1,50
FDNfe <sub>&gt;8,0 mm</sub> , % na MS <sup>3</sup>	66,67 <sup>a</sup>	49,22 <sup>d</sup>	60,16 <sup>b</sup>	11,71 <sup>e</sup>	55,55 <sup>c</sup>	1,23

<sup>1</sup>SIM = Silagem de milho; BAG = Bagaço *in natura* de cana-de-açúcar; CAN = Cana-de-açúcar *in natura*; CSOJ = Casca de soja; TALG = Torta de algodão desengordurada

<sup>2</sup>*fef*<sub>(>1,18 mm)</sub> = cálculo realizado pela multiplicação do teor da fração FDN do alimento teste pela proporção das partículas retidas em peneiras de 1,18 mm de porosidade, utilizando técnica de peneira seca; *fef*<sub>(>8,00 mm)</sub> = cálculo realizado pela multiplicação da proporção da MS retida entre as peneiras de 19 e 8 mm de porosidade pelo teor da fração FDN da mesma

<sup>3</sup>FDNfe = Fibra detergente neutro fisicamente efetiva

<sup>4</sup>EPM = Erro padrão da média

<sup>ab</sup> Letras distintas na mesma linha indicam diferença estatística pelo teste LSMeans ao nível de 5%.

Importante observar que ao calcular o fator de efetividade física das fontes de fibra utilizando métodos laboratoriais, foi possível evidenciar grande divergência entre esses métodos e entre esses e os valores calculados pelos métodos de bioensaio (tabela 3.3).

De acordo com o método proposto por Mertens (1997), silagem de milho apresentou maior *fef*<sub><1,18 mm</sub> (95,36%), diferindo ( $P < 0,05$ ) das demais fontes de fibra avaliadas. Entretanto, resultados semelhantes ( $P > 0,05$ ) foram observados entre a cana-de-açúcar (88,21%) e a torta de algodão desengordurada (86,66%). Por outro

lado, casca de soja apresentou  $fef_{>1,18 \text{ mm}}$  superior (70,90%) ( $P < 0,05$ ) ao bagaço *in natura* de cana-de-açúcar, que de acordo com este método o  $fef$  foi apenas 59,37%.

Vários sistemas de formulação de rações como o Cornell – Cornell Net Carbohydrate and Protein System (CNCPS) (Fox et al., 1992) e o NRC (1996) utilizam o método laboratorial sugerido por Mertens (1997), entretanto, como demonstrado no presente estudo, resultados utilizando peneira de 1,18 mm de porosidade apresentaram valores divergentes e inferiores quando comparado com método de bioensaio (Armentano e Pereira, 1997).

Assim, no intuito de melhor compreender os valores produzidos por meio do método laboratorial (MERTENS, 1997) para estimar a fração FDN<sub>fe</sub>, torna-se necessário compreender as três suposições criadas pelo autor. Primeira: o teor de FDN é uniformemente distribuído sobre toda partícula do alimento; segundo: a atividade de mastigação é igual para todas as partículas retidas em peneira de 1,18 mm de porosidade, e terceiro: que a facilidade em reduzir o tamanho de partícula do alimento não é diferente entre fontes de FDN. Nesse cenário, em relação às suposições de Mertens (1997) citadas acima, é possível questionar tais afirmativas, como por exemplo: 1 - prever relação entre tamanho de partícula e atividade de mastigação não é uma tarefa fácil, devido a grande complexidade entre esses fatores; 2 - a atividade de mastigação por quilograma de MS não é um atributo unicamente do ingrediente, mas sim um efeito sinérgico entre alimento e o animal, sofrendo variação em decorrência de raça, tamanho e nível de consumo pelo animal (BAE; WELCH; GILMAN, 1983; WELCH; SMITH, 1970); terceiro - supor que a redução no tamanho de partícula não difere entre fontes de FDN é um ponto bastante questionável, principalmente quando há alteração na taxa de inclusão de FFNF em substituição a FFF (GRANT, 1997; ARMENTANO; PEREIRA, 1997; YANG; BEAUCHEMIN, 2006).

Yang e Beauchemin (2006) investigaram o efeito da diminuição dos valores da fração FDN<sub>fe>8,0 mm</sub> da silagem de cevada em rações de vacas em lactação e concluíram que o tempo de ruminação e de mastigação em minutos por dia foram linearmente aumentados com o aumento da fração FDN<sub>fe>8,0 mm</sub> das silagens de cevada. Dessa forma, resultados como os de Yang e Beauchemin (2006), reforçam a

falta de consistência às suposições mencionadas por Mertens (1997), sugerindo certa cautela quanto aos valores produzidos por tal método.

De acordo com Lammers; Buckmaster; Heinrichs, (1996), a fração FDN<sub>fe</sub> pode ser medida utilizando o conjunto de peneiras do *Penn State Particle Size*, por meio da proporção da MS retida em peneiras contendo orifícios de 19 e 8 mm de porosidade, multiplicada pelo seu teor de FDN (FDN<sub>fe>8,00 mm</sub>). A aplicação desse procedimento (tabela 3.4) no presente estudo promoveu diferenças ( $P > 0,05$ ) importantes para as fontes de fibra avaliadas. Em ordem decrescente de valores, maior  $fef_{>8,0 \text{ mm}}$  foi observado para a silagem de milho, seguido pela cana-de-açúcar, torta de algodão desengordurada, bagaço *in natura* de cana-de-açúcar e casca de soja que também é contrastante com os resultados de efetividade física avaliado por bioensaio (tabela 3.3).

Como observado anteriormente, embora métodos laboratoriais utilizem apenas medidas de tamanho de partícula para estimar o valor do  $fef$ , o tipo de técnica utilizada para medir a distribuição do tamanho de partícula promoveu, neste trabalho, resultados divergentes e inferiores quando comparado com valores calculados pela técnica de bioensaio. Nesse cenário, ao utilizar a proporção total do material retido nas peneiras de 19 e 8 mm conforme recomendação de Lammers; Buckmaster; Heinrichs, (1996) foram observados valores menores do  $fef$  em relação ao método sugerido por Mertens (1997) (tabela 3.4).

Em síntese, resultados oriundos de métodos laboratoriais utilizando peneiras apenas não trazem grandes benefícios na análise. Também, há necessidade de padronizar técnicas que envolvam a utilização de peneiras, no intuito de minimizar variações existentes entre tais medidas. Como exemplo, Murphy e Zhu (1997) reportaram que, dependendo do método, a proporção da forragem retida em peneira com 1,18 mm de porosidade variou de 0,75 a 0,90 podendo ter substancial impacto nas estimativas da fração FDN<sub>fe</sub>.

Não há explicação satisfatória para a não convergência de estudos laboratoriais e de bioensaio no que se refere à efetividade física das fontes de fibra, contudo, poder-se-ia sugerir que a cinética de estratificação das partículas entre peneiras não acompanha os mesmos mecanismos de cinética de partículas no conteúdo ruminal, sugerindo com isso, maior adequação ao método.

Tabela 3.5 – Coeficiente de efetividade da fração fibra detergente neutro utilizando método de bioensaio

Variáveis	Fontes de fibra <sup>1</sup>					
	SIM	BAG	CAN	CSOJ	TALG	EPM <sup>4</sup>
<b>pH ruminal</b>						
Inclinação	0,02 <sup>bc</sup>	0,04 <sup>a</sup>	0,03 <sup>ab</sup>	0,01 <sup>c</sup>	0,03 <sup>a</sup>	0,00
<i>fe</i> , % <sup>2</sup>	100,0 <sup>bc</sup>	162,0 <sup>a</sup>	145,0 <sup>ab</sup>	66,0 <sup>c</sup>	166,0 <sup>a</sup>	16,00
FDNe <sub>(pH ruminal)</sub> , % na MS <sup>3</sup>	57,49 <sup>bc</sup>	120,34 <sup>a</sup>	63,06 <sup>bc</sup>	48,31 <sup>c</sup>	86,46 <sup>b</sup>	10,44

<sup>1</sup>SIM = Silagem de milho; BAG = Bagaço *in natura* de cana-de-açúcar; CAN = Cana-de-açúcar *in natura*; CSOJ = Casca de soja; TALG = Torta de algodão desengordurada. Valores das inclinações foram calculados da seguinte maneira: SIM = Silagem de milho (relação entre controle negativo e controle positivo) e os demais alimentos testes (BAG, CAN, CSOJ, TALG) utilizando-se a relação entre controle negativo e cada alimento teste

<sup>2</sup>*fe*<sub>(pH ruminal)</sub> = fator de efetividade calculado por meio de valores de pH ruminal conforme método proposto por Armentano e Pereira (1997)

<sup>3</sup>FFDNe = Fibra detergente neutro efetiva

<sup>4</sup>EPM = Erro padrão da média

<sup>ab</sup> Letras distintas na mesma linha indicam diferença estatística pelo teste LSMeans ao nível de 5%.

Utilizando os valores médios de pH ruminal coletados em cada período e em cada animal, também foi possível calcular os fatores de efetividade utilizando o método sugerido por Armentano e Pereira (1997).

Definindo a silagem de milho como alimento padrão (100% de efetividade), bagaço *in natura* de cana-de-açúcar e torta de algodão desengordurada apresentaram valores de efetividade 62% e 66% maior que a silagem de milho, respectivamente. Por sua vez, cana-de-açúcar demonstrou possuir resultado intermediário entre os alimentos citados anteriormente e a silagem de milho. Menores resultados foram observados para a casca de soja, visto que em comparação a silagem de milho, apresentou valor de efetividade 30% menor.

Poucos são os trabalhos que quantificaram a efetividade física de co-produtos tendo como base a atividade de mastigação ou outra medida que envolva o animal. Como visto no presente estudo, estimativas do *fef* ou *fe* de FFNF geraram valores mais inconsistentes quando comparado com FFF. Nesse cenário, a grande variação entre valores de efetividade física encontrados em resultados científicos envolvendo FFNF e

a falta de informação quanto a quantidade máxima de inclusão desses ingredientes em rações para bovinos de corte, constitui ainda um entrave importante para a utilização dessas fontes.

São raros os trabalhos que mencionam resultados conclusivos quanto ao uso de determinadas FFNF em substituição a FFF principalmente em bovinos de corte (SUDWEEDS, et al., 1981)

Sudweeds et al. (1981) avaliou o tempo de mastigação de várias forragens, co-produtos e grãos, mas apresentou os valores com base na MS e não com base no teor de FDN. Mooney e Allen, (1997) avaliaram a efetividade do caroço de algodão (utilizando o tempo de mastigação) em relação a silagem de alfafa contendo dois tamanhos de partículas e reportaram que o *fef* do caroço foi considerado 50% quando comparado com a silagem de alfafa contendo 9,5 mm e 125% quando comparado com silagem de alfafa contendo apenas 4,4 mm de tamanho de partícula.

Ao avaliar sistemas de formulação de rações como o Cornell Net Carbohydrate and Protein System (CNCPS) (Fox et al., 1992) e o NRC (1996) que utilizam valores fixos de efetividade física oriundos do método laboratorial sugerido por Mertens (1997) deve-se considerar o grau de imprecisão na estimativa de efetividade física da fibra quando o interesse é substituir diferentes fontes. Como agravante, mais complexo ainda é quando dessa estimativa depende o pH ruminal e por conseqüência, a síntese de proteína microbiana, sugerindo assim a fragilidade da estimativa.

### **3.3.2 Análise de correlação e recomendações**

Como demonstrado no presente estudo, é possível produzir diferentes valores de efetividade física ou valor de efetividade para o mesmo ingrediente utilizando métodos distintos de avaliação (ensaios laboratoriais ou bioensaio).

Entretanto, reconhecendo que o conceito de efetividade física está apoiado na habilidade de determinado ingrediente em promover a formação da camada bifásica do rúmen (“mat” ruminal) estimulando a mastigação e, conseqüentemente, a produção de saliva (ARMENTANO E PEREIRA, 1997) torna-se fundamental identificar quais parâmetros utilizados para realização dos cálculos de efetividade física ou efetividade

apresentam maior correlação com variáveis que envolvem efeitos biológicos do animal (ex.: tempo de mastigação, pH ruminal, etc.). Além disso, com o auxílio de análises envolvendo estudos de correlação seria possível observar que, se valores de efetividade física calculados por meio de métodos laboratoriais apresentassem baixa correlação com efeitos biológicos, poder-se-á construir equações utilizando variáveis de alta correlação com efeito biológico no intuito de tornar viável a utilização de técnicas que utilizassem método laboratorial (peneira) para cálculos de efetividade, minimizando assim diferenças entre métodos.

Ao avaliar os coeficientes de correlação apresentados nas tabelas 3.6 e 3.7, observa-se que medidas de efetividade física calculadas por meio de métodos laboratoriais ( $fef_{1,18}$  ou  $fef_{>8,0 \text{ mm}}$  e  $FDNfe_{1,18}$  ou  $FDNfe_{>8,0 \text{ mm}}$ ) apresentaram baixa ou nenhuma correlação ( $P>0,05$ ) com variáveis relacionadas com respostas do animal como por exemplo, o tempo de ruminação, o tempo de mastigação, o pH ruminal e o “mat” ruminal. Este padrão de resposta sugere que, métodos que utilizam exclusivamente o uso de peneiras, mesmo sendo considerados atualmente ferramenta útil para o setor produtivo, não podem ser considerados como adequados para calcular a efetividade da fibra, sugerindo cautela. Vale notar também, que nenhuma medida de efetividade física ou efetividade apresentada no presente trabalho demonstrou correlação com o pH ruminal ( $P>0,05$ ) (tabelas 3.6 e 3.7).

Por outro lado, ao avaliar os  $fef$  calculados conforme Armentano e Pereira (1997) coeficientes de correlação adequados foram observados ( $P<0,05$ ) quando relacionados com algumas medidas envolvendo efeitos biológicos (tempo de ruminação, tempo de mastigação e “mat” ruminal) (tabelas 3.6 e 3.7).

Dentre as variáveis empregadas para calcular a efetividade física ou efetiva utilizando o método proposto por Armentano e Pereira (1997) o  $fef$  oriundo do tempo de mastigação em minutos por dia apresentou o maior coeficiente de correlação ( $r = 0,65$ ) quando relacionado com o tempo de mastigação em minutos por quilo de matéria seca. Também, observou-se correlação positiva e significativa ( $r = 0,56$ ) entre o  $fef_{(mast., \text{ min/dia})}$  e o tempo de ruminação em minutos por quilo de matéria seca, bem como, houve correlação positiva ( $r = 0,47$ ) e significativa ( $P=0,003$ ) entre o  $fef_{(mast., \text{ min/dia})}$  e o “mat” ruminal, demonstrando que dentre as medidas utilizadas para calcular o  $fef$ , o tempo de

mastigação em minutos por dia foi a variável que mais se relacionou com as variáveis que envolvem o efeito do animal.

O *fef* calculado por meio do tempo de mastigação em minutos por quilo de matéria seca foi bem correlacionado ( $P < 0,01$ ) com o tempo de ruminação em minutos por dia ( $r = 0,58$ ), com o tempo de mastigação em minutos por dia ( $r = 0,58$ ) e com o “mat” ruminal ( $r = 0,50$ ), não havendo, entretanto, correlação entre o pH ruminal ( $P = 0,216$ ).

Estimativas de efetividade física calculadas por valores do “mat” ruminal demonstraram alta correlação ( $P < 0,01$ ) entre os tempos de ruminação e mastigação em minutos por dia e em minutos por kg de matéria seca (tabela 3.6), reforçando a idéia que ao aumentar a formação do “mat” ruminal, ocorrerá maior estímulo a ruminação e mastigação (HUNGATE, 1966; VIEIRA; FERNANDES, 2006; WELCH, 1982).

Também, fatores de efetividade calculados pela média de pH ruminal apresentaram correlação positiva entre o tempo de ruminação e o tempo de mastigação em minutos por dia e em minutos por quilo de matéria seca ( $P < 0,05$ ), bem como, o “mat” ruminal ( $P < 0,10$ ).

Avaliando o método proposto por Lammers; Buckmaster, Heinrichs (1996), correlações entre  $fef_{(8,0\text{ mm})}$  e tempo de ruminação em minutos por dia ( $r = 0,32$ ) e “mat” ruminal ( $r = 0,31$ ) foram significativas ( $p < 0,10$ ), apresentando entretanto, menores coeficientes de correlação quando comparado com os *fef* calculados pelo método de bioensaio (ARMENTANO; PEREIRA, 1996).

Coeficientes de correlação entre as diferentes medidas de FDNfe ou FDNe e o tempo de ruminação, o tempo de mastigação, o pH ruminal e o “mat” ruminal estão apresentados na tabela 3.7.

Sabendo que o cálculo da FDNfe ou da FDNe é simplesmente a multiplicação entre o *fef* ou *fe* e o teor da fração FDN de cada fonte de fibra, os coeficientes de correlação encontrados na tabela 3.6 apresentaram comportamento similar aos observados na tabela 3.7.

Poucos foram os estudos utilizando métodos laboratoriais para avaliar a correlação entre a FDNfe e medidas envolvendo a atividade de mastigação e o pH

ruminal (KRAUSE; COMBS; BEAUCHEMIN, 2002; YANG; BEAUCHEMIN, 2007; YANG; BEAUCHEMIN, 2009), entretanto, ao comparar os resultados apresentados nestes estudos é possível observar certa inconsistência entre os coeficientes de correlação.

Yang e Beauchemin (2007) avaliaram a correlação da  $FDNfe_{(>1,18 \text{ mm})}$  e  $FDNfe_{(8,0 \text{ mm})}$  da silagem de alfafa em relação a atividade de mastigação e pH ruminal. Estes autores, encontraram coeficientes de correlação da  $FDNfe_{(>1,18 \text{ mm})}$  e do tempo de ruminação em minutos por dia ou minutos por quilo de matéria seca de 0,34 e 0,37, respectivamente, resultados estes divergentes aos do presente trabalho que foram de -0,14 e -0,40, respectivamente. Como observado na tabela 3.7, nenhuma correlação foi observada entre o tempo de mastigação e o  $FDNfe_{(>1,18 \text{ mm})}$ , entretanto, Yang e Beauchemin (2007) reportaram coeficientes de correlação ( $r = 0,47$  e  $0,49$ ). Por outro lado, certa semelhança entre as correlações apresentadas por Yang e Beauchemin (2007) ( $r = 0,39$  e  $0,48$ ) e o presente trabalho ( $r = 0,35$  e  $0,40$ ) foram observadas quando avaliados os coeficientes envolvendo a  $FDNfe_{(8,0 \text{ mm})}$  e o tempo de ruminação e mastigação.

Após avaliar as correlações entre os diferentes métodos utilizados para os cálculos de efetividade e variáveis envolvendo respostas do animal (tempo de ruminação, tempo de mastigação, pH ruminal e “mat” ruminal), outra análise de interesse foi desenvolvida no intuito de correlacionar os fatores de efetividade gerados neste trabalho (tabela 3.8), permitindo dessa forma, avaliar se medidas realizadas dentro de um mesmo método ou em diferentes métodos poderiam ser correlacionadas.

Como observado na tabela 3.8, dentre os fatores de efetividade calculados no presente trabalho, maior correlação ( $r = 0,73$ ) foi observada entre o  $fef$  calculado por meio do tempo de mastigação em minutos por dia e o  $fef$  calculado por meio do tempo de mastigação em minutos por quilo de matéria seca. Também, boa correlação foi observada ( $r = 0,66$ ) entre o  $fef_{(\text{mast.}, \text{ min/dia})}$  e o  $fef_{(\text{“mat” ruminal})}$  originado das medidas de “mat” ruminal.

Tabela 3.6 – Coeficientes de correlação de Pearson e probabilidade (*P*) entre os diferentes fatores de efetividade física (*fef*) e o fator de efetividade (*fe*) em relação ao tempo de ruminação, o tempo de mastigação, o pH ruminal e o “mat” ruminal

	% na MS					
	<i>fef</i> <sup>1</sup> (mast., min/dia)	<i>fef</i> <sup>1</sup> (mast., min/kg de MS)	<i>fef</i> <sup>1</sup> ("mat" ruminal)	<i>fe</i> <sup>1</sup> (pH ruminal)	<i>fef</i> <sup>2</sup> >1,18 mm	<i>fef</i> <sup>2</sup> >8,00 mm
<b>Ruminação</b>						
min/dia	....	0,58 ( <i>P</i> =0,0002)	0,54 ( <i>P</i> =0,0007)	0,47 ( <i>P</i> =0,003)	-0,14 ( <i>P</i> =0,405)	0,32 ( <i>P</i> =0,054)
min/kg de MS	0,56 ( <i>P</i> <0,0003)	....	0,52 ( <i>P</i> =0,001)	0,51 ( <i>P</i> =0,001)	-0,40 ( <i>P</i> =0,017)	0,23 ( <i>P</i> =0,173)
<b>Mastigação</b>						
min/dia	....	0,58 ( <i>P</i> =0,0002)	0,50 ( <i>P</i> =0,002)	0,40 ( <i>P</i> =0,020)	-0,09 ( <i>P</i> =0,586)	0,38 ( <i>P</i> =0,022)
min/kg de MS	0,65 ( <i>P</i> <0,0001)	....	0,45 ( <i>P</i> =0,006)	0,42 ( <i>P</i> =0,009)	-0,40 ( <i>P</i> =0,015)	0,22 ( <i>P</i> =0,189)
<b>pH ruminal</b>	0,07 ( <i>p</i> =0,669)	0,21 ( <i>P</i> =0,216)	0,26 ( <i>P</i> =0,120)	....	-0,32 ( <i>P</i> =0,052)	0,03 ( <i>P</i> =0,852)
<b>“Mat” ruminal</b>	0,47 ( <i>P</i> =0,003)	0,50 ( <i>P</i> =0,002)	....	0,30 ( <i>P</i> =0,075)	-0,14 ( <i>P</i> =0,407)	0,31 ( <i>P</i> =0,066)

<sup>1</sup>*fef* = fator de efetividade física utilizando o método proposto por Armentano e Pereira (1997); *fef*<sub>(mast., min/dia)</sub> = cálculo utilizando o tempo de mastigação em minutos por dia; *fef*<sub>(mast., min/kg de MS)</sub> = cálculo utilizando o tempo de mastigação em minutos por quilo de matéria seca; *fef*<sub>(“mat” ruminal)</sub> = \*cálculo utilizando o tempo de deslocamento do peso inserido internamente ao rúmen em segundos (WELCH, 1982); <sup>2</sup>*fe* (fator de efetividade) = *fe*<sub>(pH ruminal)</sub> = cálculo utilizando valores de pH ruminal; <sup>3</sup>*fef*<sub>(>1,18 mm)</sub> = cálculo realizado pela multiplicação do teor da fração FDN do ingrediente teste pela proporção das partículas retidas em peneiras de 1,18 mm de porosidade, utilizando técnica de peneira seca (MERTENS, 1997); *fef*<sub>(>8,00 mm)</sub> = cálculo realizado pela multiplicação da proporção da MS retida entre as peneiras de 19 e 8 mm de porosidade pelo teor da fração FDN da mesma (LAMMERS; BUCKMASTER; HEINRICHS, 1996).

Tabela 3.7 – Coeficientes de correlação de Pearson e probabilidade (*P*) entre as diferentes medidas de fibra detergente neutro fisicamente efetivo (FDNfe) ou fibra detergente neutro efetivo (FDNe), o tempo de ruminação, o tempo de mastigação, o pH ruminal e o “mat” ruminal

	% na MS					
	FDNfe <sup>1</sup> (mast., min/dia)	FDNfe <sup>1</sup> (mast., min/kg de MS)	FDNfe <sup>1</sup> ("mat" ruminal)	FDNe <sup>2</sup> (pH ruminal)	FDNfe <sup>3</sup> >1,18 mm	FDNfe <sup>3</sup> >8,0 mm
<b>Ruminação</b>						
min/dia	....	0,51 ( <i>P</i> =0,001)	-0,20 ( <i>P</i> =0,238)	0,40 ( <i>P</i> =0,017)	0,10 ( <i>P</i> =0,560)	0,35 ( <i>P</i> =0,035)
min/kg de MS	0,63 ( <i>P</i> <0,0001)	....	0,10 ( <i>P</i> =0,602)	0,57 ( <i>P</i> =0,0003)	-0,08 ( <i>P</i> =0,647)	0,27 ( <i>P</i> =0,115)
<b>Mastigação</b>						
min/dia	....	0,51 ( <i>P</i> =0,001)	-0,20 ( <i>P</i> =0,277)	0,33 ( <i>P</i> =0,048)	0,18 ( <i>P</i> =0,284)	0,40 ( <i>P</i> =0,015)
min/kg de MS	0,75 ( <i>P</i> <0,0001)	....	0,20 ( <i>P</i> =0,271)	0,53 ( <i>P</i> =0,0008)	-0,05 ( <i>P</i> =0,757)	0,25 ( <i>P</i> =0,131)
<b>pH ruminal</b>	0,08 ( <i>P</i> =0,701)	0,20 ( <i>P</i> =0,231)	-0,07 ( <i>P</i> =0,659)	....	-0,18 ( <i>P</i> =0,291)	0,06 ( <i>P</i> =0,710)
<b>“Mat” ruminal*</b>	0,42 ( <i>P</i> =0,011)	0,41 ( <i>P</i> =0,013)	....	0,23 ( <i>P</i> =0,172)	0,12 ( <i>P</i> =0,472)	0,33 ( <i>P</i> =0,048)

<sup>1</sup>*fef* = fator de efetividade física utilizando o método proposto por Armentano e Pereira (1997); *fef*<sub>(mast., min/dia)</sub> = cálculo utilizando o tempo de mastigação em minutos por dia; *fef*<sub>(mast., min/kg de MS)</sub> = cálculo utilizando o tempo de mastigação em minutos por quilo de matéria seca; *fef*<sub>(“mat” ruminal)</sub> = \*cálculo utilizando o tempo de deslocamento do peso inserido internamente ao rúmen em segundos (WELCH, 1982); <sup>2</sup>*fe* (fator de efetividade) = *fe*<sub>(pH ruminal)</sub> = cálculo utilizando valores de pH ruminal; <sup>3</sup>*fef*<sub>(>1,18 mm)</sub> = cálculo realizado pela multiplicação do teor da fração FDN do ingrediente teste pela proporção das partículas retidas em peneiras de 1,18 mm de porosidade, utilizando técnica de peneira seca (MERTENS, 1997); *fef*<sub>(>8,00 mm)</sub> = cálculo realizado pela multiplicação da proporção da MS retida entre as peneiras de 19 e 8 mm de porosidade pelo teor da fração FDN da mesma (LAMMERS; BUCKMASTER; HEINRICHS, 1996).

Outra relação que merece destaque, foi a alta correlação entre  $fef_{(mast., min/dia)}$  e o  $fef_{(>8,00 \text{ mm})}$  calculado por meio do método laboratorial proposto por Lammers; Buckmaster; Heinrichs (1996). Foi possível verificar também, alta correlação positiva ( $r = 0,62$ ) entre o  $fef_{(mast., min/kg \text{ de MS})}$  e o  $fef_{("mat" \text{ ruminal})}$  calculado por valores oriundos do "mat" ruminal. Por outro lado, alta correlação positiva ( $r = 0,62$ ) foi observada entre o  $fef_{("mat" \text{ ruminal})}$  e o  $fef_{(8,0 \text{ mm})}$  utilizando o método laboratorial proposto por Lammers; Buckmaster; Heinrichs (1996).

Importante lembrar que mesmo não encontrando, neste trabalho, nenhuma correlação entre o  $fef$  calculado pelo método proposto por Mertens (1997) e medidas que envolvam a resposta animal, houve correlação positiva e significativa ( $r = 0,65$  e  $P < 0,01$ ) entre os métodos que utilizam apenas o tamanho de partícula para calcular a efetividade física de determinados ingredientes (MERTENS, 1997 e LAMMERS; BUCKMASTER; HEINRICHS, 1996).

Na tabela 3.9 estão apresentadas equações de regressão linear envolvendo diferentes fatores de efetividade física ou efetividade calculados por meio do método de bioensaio ou métodos laboratoriais. Foram apresentadas neste trabalho apenas as equações contendo relações significativas ( $P < 0,05$ ).

Tabela 3.8 – Coeficientes de correlação de Pearson e probabilidade (*P*) entre fatores de efetividade física (*fef*) e efetividade (*fe*)

	% na MS					
	<i>fef</i> <sub>(mast., min/dia)</sub> <sup>1</sup>	<i>fef</i> <sub>(mast., min/kg de MS)</sub> <sup>1</sup>	<i>fef</i> <sub>("mat" ruminal)</sub> <sup>1</sup>	<i>fe</i> <sub>(pH ruminal)</sub> <sup>2</sup>	<i>fef</i> <sub>(&gt;1,18 mm)</sub> <sup>3</sup>	<i>fef</i> <sub>(&gt;8,00 mm)</sub> <sup>3</sup>
<i>fef</i> <sub>(mast., min/dia)</sub> <sup>1</sup>	....	....	....	....	....	....
<i>fef</i> <sub>(mast., min/kg de MS)</sub> <sup>1</sup>	0,73 ( <i>P</i> <0,0001)	....	....	....	....	....
<i>fef</i> <sub>("mat" ruminal)</sub> <sup>1</sup>	0,66 ( <i>P</i> <0,0001)	0,62 ( <i>P</i> <0,0001)	....	....	....	....
<i>fe</i> <sub>(pH ruminal)</sub> <sup>2</sup>	0,24 ( <i>P</i> =0,157)	0,34 ( <i>P</i> =0,040)	0,36 ( <i>P</i> =0,030)	....	....	....
<i>fef</i> <sub>(&gt;1,18 mm)</sub> <sup>3</sup>	0,18 ( <i>P</i> =0,284)	-0,38 ( <i>P</i> =0,024)	0,13 ( <i>P</i> =0,443)	-0,14 ( <i>P</i> =0,401)	....	....
<i>fef</i> <sub>(&gt;8,00 mm)</sub> <sup>3</sup>	0,72 ( <i>P</i> <0,0001)	0,32 ( <i>P</i> =0,055)	0,62 ( <i>P</i> <0,0001)	0,28 ( <i>P</i> =0,097)	0,65 ( <i>P</i> <0,0001)	....

<sup>1</sup>*fef* = fator de efetividade física utilizando o método proposto por Armentano e Pereira (1997); *fef*<sub>(mast., min/dia)</sub> = cálculo utilizando o tempo de mastigação em minutos por dia; *fef*<sub>(mast., min/kg de MS)</sub> = cálculo utilizando o tempo de mastigação em minutos por quilo de matéria seca; *fef*<sub>("mat" ruminal)</sub> = cálculo utilizando o tempo de deslocamento do peso inserido internamente ao rúmen em segundos (WELCH, 1982); <sup>2</sup>*fe* (fator de efetividade) = *fe*<sub>(pH ruminal)</sub> = cálculo utilizando valores de pH ruminal; <sup>3</sup>*fef*<sub>(>1,18 mm)</sub> = cálculo realizado pela multiplicação do teor da fração FDN do ingrediente teste pela proporção das partículas retidas em peneiras de 1,18 mm de porosidade, utilizando técnica de peneira seca (MERTENS, 1997); *fef*<sub>(>8,00 mm)</sub> = cálculo realizado pela multiplicação da proporção da MS retida entre as peneiras de 19 e 8 mm de porosidade pelo teor da fração FDN da mesma (LAMMERS; BUCKMASTER; HEINRICHS, 1996)

Tabela 3.9 – Equações de regressão linear envolvendo fatores de efetividade física ou efetividade calculadas por meio do método de bioensaio ou métodos laboratoriais<sup>1</sup>

Variável dependente <sup>2</sup>	Variável independente	Parâmetros estimados				Modelo estatístico		
		Intercepto	EP <sub>intercepto</sub> <sup>3</sup>	Inclinação	EP <sub>inclinação</sub> <sup>3</sup>	EPRM <sup>4</sup>	Pr	R <sup>2</sup>
1 - $fef_{(mast., min/dia)}$	$fef_{(>8,00 mm)}$	-5,96	17,06	1,35	0,25	32,16	<0,0001	0,51
2 - $fef_{(mast., min/kg de MS)}$	$fef_{(>8,00 mm)}$	15,70	46,70	1,38	0,70	88,01	0,054	0,13
3 - $fef_{(mast., min/kg de MS)}$	$fef_{(>1,18 mm)}$	326,02	95,80	-2,77	1,18	86,02	0,026	0,20
4 - $fef_{("mat" ruminal)}$	$fef_{(>8,00 mm)}$	-0,15	0,25	0,016	0,02	0,47	<0,001	0,42
5 - $fe_{(pH ruminal)}$	$fef_{(>8,00 mm)}$	68,37	28,47	0,94	0,42	53,65	0,031	0,16

<sup>1</sup>Foram apresentadas apenas as equações contendo relações significativas ( $P < 0,05$ )

<sup>2</sup> $fef$  = fator de efetividade física utilizando o método proposto por Armentano e Pereira (1997);  $fef_{(mast., min/dia)}$  = cálculo utilizando o tempo de mastigação em minutos por dia;  $fef_{(mast., min/kg de MS)}$  = cálculo utilizando o tempo de mastigação em minutos por quilo de matéria seca;  $fef_{("mat" ruminal)}$  = cálculo utilizando o tempo de deslocamento do peso inserido internamente ao rúmen em segundos (WELCH, 1982);  $fe$  (fator de efetividade) =  $fe_{(pH ruminal)}$  = cálculo utilizando valores de pH ruminal;  $fef_{(>1,18 mm)}$  = cálculo realizado pela multiplicação do teor da fração FDN do ingrediente teste pela proporção das partículas retidas em peneiras de 1,18 mm de porosidade, utilizando técnica de peneira seca (MERTENS, 1997);  $fef_{(>8,00 mm)}$  = cálculo realizado pela multiplicação da proporção da MS retida entre as peneiras de 19 e 8 mm de porosidade pelo teor da fração FDN da mesma (LAMMERS; BUCKMASTER; HEINRICHS, 1996)

<sup>3</sup> EP = Erro padrão

<sup>4</sup> EPRM = Erro quadrático médio

Sabe-se que a atividade de mastigação ou qualquer outra variável que envolva medidas biológicas produzem resultados adequados quanto à efetividade física da fibra (MERTENS, 1997). Como demonstrado no presente estudo, fatores de efetividade física oriundos de cálculos laboratoriais apresentaram baixa ou nenhuma correlação ( $P > 0,05$ ) com tempo de ruminação, tempo de mastigação, pH ruminal e “mat” ruminal (tabelas 3.6 e 3.7). Entretanto, tendo em vista a alta correlação encontrada no presente trabalho entre o *fef* oriundo do cálculo de bioensaio e o *fef* calculado por meio de métodos laboratoriais (MERTENS, 1997 e LAMMERS; BUCKMASTER; HEINRICHS, 1996) (tabelas 3.6 e 3.7), foi possível construir equações de regressão que pudessem associar variáveis que apresentassem fácil aplicabilidade em condições de campo e ao mesmo tempo alta correlação com o tempo de mastigação, em virtude dessas equações serem originadas de experimento que avaliou o tempo de mastigação de bovinos de corte (tabela 3.9).

Na tabela 3.9 é possível notar que a equação número 1 envolvendo o  $fef_{(mast, min/dia)}$  como variável dependente e o  $fef_{>8,00 mm}$  como variável independente foi a equação que apresentou coeficiente de determinação mais adequado ( $R^2 = 0,51$ ) quando comparado com as demais equações geradas no estudo. A equação número 4 utilizando o  $fef_{(“mat” ruminal)}$  como variável dependente foi a segunda melhor equação gerada pelo presente trabalho com coeficiente de determinação 0,42.

Em termos práticos, utilizando a equação de número 1 (tabela 3.9) é possível fazer algumas inferências. Neste trabalho a cana-de-açúcar apresentou valor do  $fef_{>8,00 mm}$  de 77,1% (tabela 3.4). Ao utilizar o valor do  $fef_{>8,00 mm}$  da cana-de-açúcar (77,1%) na equação número 1 (tabela 3.9) obter-se-á aumento do fator do *fef* deste alimento em 21%, ou seja, o valor do *fef* da cana-de-açúcar oriundo da equação que utiliza como variável dependente o  $fef_{(mast, min/dia)}$  terá valor de 98,12%.

Importante destacar que as equações apresentadas na tabela 3.9 foram oriundas de um banco de dados restrito (delineamento em quadrado latino 6 x 6) contendo fontes de fibra forragem (silagem de milho, bagaço *In natura* de cana-de-açúcar e cana-de-açúcar) e fontes de fibra não forragem (casca de soja e torta de algodão desengordurada). Contudo, sabendo da necessidade de se obter valores de efetividade física mais realísticos com o comportamento do animal, sem perder a

aplicabilidade em condições de campo, mais estudos serão necessários para construir equações que possam melhorar os valores de efetividade física calculados por meio de métodos laboratoriais.

### 3.4 Conclusões

Diferentes fontes de fibra utilizadas em rações destinadas a confinamentos apresentam características distintas quanto a sua natureza química e física, influenciando por conseqüência o valor da efetividade física ou efetividade de cada alimento.

Resultados apresentados neste estudo reforçam a idéia que cálculos envolvendo o fator de efetividade física ou fator de efetividade de determinada fonte de fibra é relativo apenas ao ingrediente que foi substituído e que valores de efetividade podem variar significativamente entre ingredientes. Assim, pensando em uma situação ideal, seria necessário maior número de trabalhos avaliando a efetividade física de diferentes alimentos relativo a um único alimento padrão (caracterizando seus atributos físicos e químicos) para que valores de efetividade física possam ser comparáveis entre os estudos, tornado mais aplicável o conceito de efetividade física ou efetividade.

Há a necessidade em obter padronização e validação do método para medir fibra fisicamente efetiva em alimentos e, conseqüentemente, estabelecer suas exigências para bovinos de corte.

Sabendo da possibilidade em estimar o fator de efetividade física por meio de técnicas que utilizam peneiras, em condições de campo, o primeiro passo para que seja possível utilizá-las é a padronização do método para medir tamanho de partículas.

Mesmo tendo apresentado baixa ou nenhuma correlação entre as diversas atividades biológicas avaliadas no presente estudo e os valores de efetividade física estimados por técnicas utilizando peneiras, equações de regressão foram desenvolvidas utilizando como variável dependente os *fef* calculados por métodos de bioensaio.

Sabendo da necessidade de se obter valores de efetividade física mais realísticos com o comportamento do animal, sem perder a aplicabilidade em condições

de campo, mais estudos serão necessários para construir equações que possam melhorar os valores de efetividade física calculados por meio de métodos laboratoriais.

## Referências

ALLEN, M.S. Relationship between fermentation acid production in the rumen and the requirement for physically effective fiber. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 80, p. 1447-1462, 1997.

ALLEN, M.S. Effects of diet on short-term regulation of feed intake by lactating dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, Champaign v. 83, p. 1598-1624, 2000.

ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS. **Official methods of analysis of AOAC International**. 16<sup>th</sup>. ed. Arlington, 1995. v. 2, chap. 33, p. 10-11.

ARMENTANO, L.E.; PEREIRA, M.N. Measuring the effectiveness of fiber by animal response trials. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 80, p. 1416-1425, 1997.

BARKER, I. K.; VAN DREUMEL, A. A.; PALMER, N. The alimentary system. In: JUBB, K.V.F.; KENNEDY, P.C.; PALMER, N. **Pathology of domestic animals**. 4th. ed. San Diego: Academic Press, 1995. v. 2.

BAE, D.H.; WELCH, J.G.; GILMAN, B.E. Mastigation, and rumination in relation to body size of cattle. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 66, p. 137, 1983.

CLARK, P.W.; ARMENTANO, L.E. Effectiveness of neutral detergent fiber in whole cottonseed and dried distillers grains compared with alfalfa haylage. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 76, p. 2644-2650, 1993.

CLARK, P.W.; ARMENTANO, L.E. Replacement of alfalfa neutral detergent fiber with a combination of nonforage fiber sources. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 80, p. 675-680, 1997.

FOX, D.G.; SNIFFEN, C.J.; O'CONNOR, J.D.; RUSSELL, J.B. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: III. Cattle requirements and diet adequacy. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 70, p. 3578-3596, 1992.

GRANT, R.J. Interactions among forages and nonforage fiber sources. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 80, p. 1438-1446, 1997.

GRANT, R.J.; MERTENS, D.R. Influence of buffer pH and raw cornstarch addition on *in vitro* fiber digestion kinetics. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 75, p. 2762-2768, 1992.

GRANT, R.J.; COLENBRANDER, V.J.; ALBRIGHT, J.L. Effect of particle size of forage and rumen cannulation upon chewing activity and laterality in dairy cows. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 73, p. 3158-3164, 1990.

HUNGATE, R.E. **The rumen and its microbes**. New York: Academic Press, 1966. 533p.

KRAUSE, K.M.; COMBS, D.K.; BEAUCHEMINA K.A. Effects of forage particle size and grain fermentability in midlactation cows. II. Ruminal pH and chewing activity. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 85, p. 1947-1957, 2002.

LAMMERS, B.P.; BUCKMASTER, D.R.; HEINRICHS, A.J. A simple method for the analysis of particle sizes of forage and total mixed rations. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 79, p. 922-928, 1996.

LIMA, M.L.M.; **Análise comparativa da efetividade da fibra de volumosos e subprodutos**. 2003. 118p. Tese (Doutorado em Ciência Animal e Pastagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

MARI, L.J.; NUSSIO, L.G. **O método Penn State Particle Size Separator para a predição do tamanho de partículas de silagens**. 2002. Disponível em: <<http://www.beefpoint.com.br/bn/radarestecnicos>>. Acesso em: 21 jan 2007.

MERTENS, D.R. Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 80, p. 1463-1482, 1997.

MERTENS, D.R. Physically effective NDF and its use in formulating dairy rations. **Feedstuffs**, v. 10, p. 11-14, Apr. 2000.

MOONEY C.S.; ALLEN, M.S. Physical effectiveness of the neutral detergent fiber of whole cottonseed relative to that of alfalfa silage at two lengths of cut. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 80, p. 2052-2061, 1997.

MILLEN, D.D.; PACHECO, R.D.L.; ARRIGONI, M.D.B.; GALYEAN, M.L.; VASCONCELOS, J.T. A snapshot of management practices and nutritional recommendations used by feedlot nutritionists in Brazil. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 87, p. 3427-3439, 2009.

MURPHY, M.R.; ZHU, J.S. A comparison of methods to analyze particle size as applied to alfalfa haylage, corn silage, and concentrate mix. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 80, p. 2932-2938, 1997.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requirements of beef cattle**. 7<sup>th</sup>. ed. Washington: National Academy Press, 1996. 242p.

OWENS, F.N. Adaptação de gado confinado a dietas ricas em grãos: distúrbios metabólicos e desempenho. In: SIMPÓSIO SOBRE BOVINOCULTURA DE CORTE, 6., 2008. Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Fealq, 2008a. p. 221-236...

OWENS, F.N. Optimization of feedlot diets with high density of energy and nutrients. In: VI Simpósio de Produção de Gado de Corte: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE PRODUÇÃO DE GADO DE CORTE, 2., 2008, Viçosa, **Anais...** Viçosa: UFV, 2008b. p. 95-120.

POPPI, D.P.; NORTON, B.W. The validity of the critical size theory for particles leaving the rumen. **Journal of Agricultural Science**, Champaign, v. 94, p. 275-280, 1980.

PRIGGE, E.C.; FOX, J.T.; JACQUEMET, N.A.; RUSSELL, R.W. Influence of forage species and diet particle size on the passage of digesta and nylon particles from the reticulorumen of steers. **Journal of Animal Science**, Champaign, v.71, p. 2760-2769, 1993.

SAS INSTITUTE. **SAS/STAT user's guide**. Version 8.2. 5<sup>th</sup> ed. Cary: Statistical Analysis System Institute, 2001. 846p.

SUDWEEDS, E.M.; ELY, L.O.; MERTENS, D.R.; SISK, L.R. Assessing minimum amounts and form of roughages in ruminant diets: roughage value index system. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 53, p. 1406-1417, 1981.

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

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

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**, Champaign, v. 74, p. 3583-3597, 1991.

VASCONCELOS, J.T.; GALYEAN, M.L. Nutritional recommendation of feedlot consulting nutritionists: The 2007 Texas Tech University survey. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 85, p. 2772 - 2781, 2007.

VIEIRA, R.A.M.; FERNANDES, A.M. The importance of quantitative studies associated to fiber for the nutrition and feeding of ruminants. **Revista Brasileira de Zootecnia**, cidade v. 35 (Special Supplement), p. 258-290, 2006.

WELCH, J.G. Ruminant, particle size and passage from the rumen. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 54, n 4, p. 885-894, 1982.

WELCH, J.G. Ruminant, particle size and passage from the rumen. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 54, n 4, p. 885-894, 1982.

WELCH, J.G.; SMITH, A.M. Effect of varying amounts of forage intake on rumination. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 28, p. 827-830, 1969.

WELCH, J.G.; SMITH, A.M. Forage quality and rumination time in cattle. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 53, p. 797, 1970.

WELCH, J.G.; SMITH, A.M. Physical stimulation of rumination activity. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 33, p. 1118-1127, 1971.

WOODFORD, S.T.; MURPHY, M.R. Effect of forage physical form on chewing activity, dry matter intake, and rumen function of dairy cows in early lactation. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 71, p. 674-686, 1988.

YANG, W.Z.; BEAUCHEMIN, K.A. Effects of physically effective fiber on digestion and milk production by dairy cows fed diets based on corn silage. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 88, p. 1090-1098, 2005.

YANG, W.Z.; BEAUCHEMIN, K.A. Effects of physically effective fiber on chewing activity and ruminal pH of dairy cows fed diets based on barley silage. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 89, p. 217-228, 2006.

YANG, W.Z.; BEAUCHEMIN, K.A. Altering physically effective fiber intake through forage proportion and particle length: chewing and ruminal pH. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 90, p. 2826-2838, 2007.

YANG, W.Z.; BEAUCHEMIN, K.A. Increasing physically effective fiber content of dairy cow diets through forage proportion versus forage chop length: chewing and ruminal pH. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 92, p. 1603-1615, 2009.

YANG, W.Z.; BEAUCHEMIN, K.A.; RODE, L.A. Barley processing, forage:concentrate ratio, and forage particle size on chewing and digesta passage in lactating cows. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 84, p. 2709-2720, 2001.

ZEBELI, Q.; TAJAJ, M.; STEINGASS, H. et al. Effects of physically effective fiber on digestive processes and milk fat content in early lactating dairy cows fed total mixed rations. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 89, p. 651-668, 2006.

ZINN, R.A.; WARE, R.A. Forage quality: digestive limitations and their relationships to performance of beef and dairy cattle. ANNUAL SOUTHWEST NUTRITION & MANAGEMENT CONFERENCE, 22 2007.local. **Proceedings...** local,2007. p. 49 – 54



## 4 CINÉTICA DIGESTIVA E ALGUNS ASPECTOS DO METABOLISMO RUMINAL EM BOVINOS DE CORTE ALIMENTADOS COM DIFERENTES FONTES DE FIBRA NA DIETA

### Resumo

Objetivou-se com este estudo avaliar o efeito de diferentes fontes de fibra nos parâmetros de fermentação ruminal, digestibilidade de nutrientes no trato total, na cinética de digestão e passagem da digesta em rações destinadas ao arraçoamento de bovinos de corte em condições de confinamento. Foram utilizados seis bovinos machos castrados da raça Nelore contendo cânula no saco dorsal do rúmen, alojados em gaiolas metabólicas, em delineamento do tipo quadrado latino 6x6, contendo 19 dias de período experimental cada. Seis rações foram compostas por teor e fontes de fibra: CN (controle negativo – com 10% da fração FDN de silagem de milho); CP (controle positivo – com 20% da fração FDN de silagem de milho); e quatro rações contendo 10% da fração FDN de silagem de milho e 10% da fração FDN de cada uma das seguintes fontes: bagaço *in natura* de cana-de-açúcar (BAG), cana-de-açúcar (CAN), casca de soja (CSOJ) e torta de algodão desengordurada (TALG). Os valores médios de pH ruminal foram influenciados pelo nível e fonte de fibra. A concentração total de ácidos graxos de cadeia curta (AGCC) foi significativamente alterada ( $P < 0,05$ ) em função dos diferentes tratamentos. A concentração molar de ácido acético e a somatória dos ácidos isobutírico e isovalérico no conteúdo ruminal não apresentaram diferença ( $P > 0,05$ ) entre as rações contendo diferentes fontes e teor de fibra, com médias de 65,70 e 4,90 mM para as duas variáveis, respectivamente. O tratamento CN apresentou menor relação acetato:propionato (C2:C3) (2,20 mM) em comparação aos demais tratamentos estudados. A exceção do tratamento BAG, o qual demonstrou maior relação C2:C3 (2,88 mM), os demais tratamentos apresentaram resultados semelhantes ( $P > 0,05$ ) com média de 2,53 mM para os tratamentos: CP, CAN, CSOJ e TALG. Rações contendo diferentes fontes e teores de fibra não alteraram o tempo médio de digestão da MS e da fração FDN ( $P > 0,05$ ), como também, não provocaram alteração ( $P > 0,05$ ) nas frações A e U referente à MS avaliadas pelo ensaio de degradabilidade *in situ*. Por outro lado, diferenças ( $P < 0,05$ ) na fração solúvel da MS (S), da taxa de degradação da fração A e da degradabilidade efetiva da MS foram observadas entre os tratamentos. Os tratamentos CN, CP, CSOJ e TALG apresentaram maiores proporções da fração FDN potencialmente digestível ( $A_n$ ) (61,30, 64,10, 60,00 e 54,00%, respectivamente) quando comparado com os tratamentos BAG e CAN (22,31 e 37,24%). A fração indigestível ( $U_n$ ) pertencente à fração FDN apresentou comportamento inverso ao observado para a degradação da fração  $A_n$ . Teor e fontes de fibra alteraram ( $P < 0,05$ ) a taxa de passagem do pool de partículas escapáveis no rúmen retículo ( $k_e$ ), o  $TMRR_p$  e o  $TMRT_p$ . Não houve diferença ( $P > 0,05$ ) na taxa assintótica de líquidos ( $\lambda_L$ ,  $h^{-1}$ ), no tempo de trânsito da fase líquida ( $TT_L$ , h), como também, no  $TMRR_L$  e  $TMRT_L$  entre os diferentes tratamentos avaliados (média de 0,11  $h^{-1}$ , 8,73, 20,6 e 29,6 horas respectivamente).

Palavras-chave: Digestibilidade; Degradação ruminal; Fibra; Repleção ruminal; Taxa de passagem

## Abstract

This study aimed to evaluate the effect of different sources of fiber in the fermentation parameters, nutrient digestibility, digestion kinetics and diet passage for the feeding of beef cattle finishing diets. Six Nellore steers with ruminal cannula were used, housed in a tie-stall barn, following a 6 x 6 Latin square experimental design with experimental periods of 19 days. Each experimental period consisted of 10 days of adaptation to the experimental diet and 9 days of data collection. Six diets representing a level and sources of fiber were used: NC (negative control - 10% of the NDF fraction of the corn silage); PC (positive control - 20% of the NDF fraction of the corn silage) and four diets with 10% of the NDF fraction of the corn silage and 10% of the NDF fraction of one of the following sources: sugarcane (SC), sugarcane bagasse (SCB), soybean hulls (SH) and high oil – cottonseed meal (HOCM). The mean ruminal pH levels were influenced by the content and source of fiber. The concentration of total short-chain fat acids (SCFA) were significantly altered ( $P < 0.05$ ) according to the different treatments. The molar concentration of acetic acid and the sum of isobutyric and isovaleric acids in the ruminal content showed no differences ( $P > 0.05$ ) between diets containing different sources and fiber content, with means of 65.70 and 4.90 mM respectively. The NC treatment showed lower relation acetate: propionate (C2:C3) (2.20 mM) compared to other studied treatments. Except for the SCB treatment which showed a higher C2:C3 (2.88 mM) ratio, the other treatments showed similar results ( $P > 0.05$ ) with an average of 2.53 mM for PC, SC, SH and HOCM treatments. Diets containing different sources and contents of fiber did not change the average time of digestion from the DM and NDF fraction ( $P > 0.05$ ), also they did not cause changes ( $P > 0.05$ ) in the A and U fractions of the DM evaluated by the in situ degradability study. Moreover, differences ( $P < 0.05$ ) in the DM soluble fraction (S), A fraction degradation rate, and DM effective degradability were observed among treatments. The treatments CN, PC, SH e HOCM had higher proportions of NDF potential digestible fraction ( $A_n$ ) with 61.30, 64.10, 60.00 and 54.00% respectively when compared with SCB and SC treatments (22.31 and 37.24%). The indigestible fraction ( $U_n$ ) belonging to the NDF fraction showed a behavior opposite to that observed for the  $A_n$  fraction degradation. Content and fiber sources changed ( $P < 0.05$ ) the  $k_e$ , the  $TMRR_p$  and the  $TMRT_p$ . No difference was observed ( $P > 0.05$ ) on asymptotic rate of fluid ( $\lambda_L, h^{-1}$ ), along the transit time of the fluid phase ( $TT_L, h$ ) and  $TMRR_L$  and  $TMRT_L$  between different treatments (average of  $0.11 h^{-1}$ , 8.73, 20.6 and 29.6 hours, respectively).

Keywords: Digestibility; Ruminal degradation; Fiber; Ruminal repletion; passage rate

## 4.1 Introdução

Mesmo havendo tendência em se utilizar maiores quantidades de ingredientes concentrados em rações para bovinos de corte (OWENS, 2008a), tradicionalmente, confinamentos brasileiros apresentam comportamento conservador quanto ao nível de inclusão de forragens, com média de 28,8% (mínimo de 12% e máximo de 45%) na MS da ração total (MILLEN et al., 2009) em comparação aos confinamentos americanos, que utilizam baixos níveis de inclusão de forragens (de zero a 13,5%) na MS da ração total (OWENS, 2008b). Tal comportamento demonstrado por Millen et al. (2009) sugere que, no Brasil, a presença de fontes de fibra na ração simboliza a elevada importância dessas em sistemas de alimentação envolvendo bovinos de corte.

Outra característica marcante em confinamentos brasileiros é a diversidade de fontes forrageiras utilizadas, tais como a cana-de-açúcar (ensilada ou *in natura*), a silagem de milho, a silagem de sorgo, o bagaço de cana-de-açúcar, a silagem de capim e outras fontes de fibra não forragem (FFNF) (MILLEN et al., 2009). Nesse cenário, é comum observar rações contendo diferentes fontes de volumosos e níveis idênticos da fração fibrosa (teor de FDN) na ração total, o que produz, por consequência, respostas divergentes quanto ao consumo de matéria seca (CMS), o comportamento ingestivo, o metabolismo ruminal e, em última análise, diferenças no desempenho animal (ZINN e WARE, 2007; BULLE et al., 2002; GALYEAN; DEFFOR, 2003; SHAIN et al., 1999).

O nível e fonte de forragem influencia o consumo de matéria seca e, conseqüentemente, o consumo de energia líquida de ganho (ELg), o que afeta diretamente o desempenho e as características de carcaça de bovinos confinados (DEFOOR; GALYEAN; SALYER, 2002). Entretanto, razões para o efeito de diferentes fontes de forragem no consumo de matéria seca e na cinética de digestão e passagem não são ainda totalmente compreendidos (GALYEAN e DEFOOR, 2003).

Diferenças no tamanho de partículas e na composição química (celulose, hemicelulose, lignina) entre as diversas fontes de fibra afetam o CMS por contribuir com o efeito de repleção ruminal (JUNG e ALLEN, 1995; OWENS, 2008b), principalmente quando se utilizam rações contendo inclusões entre 12% e 45% de forragem na MS da ração total.

Segundo FAICHNEY (1984), o valor nutritivo da forragem consumida por ruminantes é influenciado pela taxa com que esta é degradada no rúmen e pela taxa de remoção física do rúmen. Estes processos determinam não somente a disponibilidade de nutrientes para os microrganismos do rúmen e para o animal hospedeiro, mas também a quantidade de forragem que poderá ser consumida.

Sabendo do importante papel da fibra em rações destinadas a bovinos confinados no Brasil, mais informações são necessárias para quantificar como características físicas e químicas de fontes de fibra afetam o metabolismo e a cinética de digestão em bovinos. Assim, objetiva-se com este estudo, avaliar o efeito de diferentes fontes de fibra no metabolismo ruminal e na cinética de digestão e passagem da digesta em rações contendo a mesma proporção da fração fibrosa oriunda de fontes de fibra de origem forrageira e não forrageira (FFNF) destinadas ao arraçamento de bovinos de corte em condições de confinamento.

## 4.2 Desenvolvimento

### 4.2.1 Local do experimento

O experimento foi realizado no Departamento de Zootecnia da USP/ESALQ, em Piracicaba – SP.

### 4.2.2 Desenho experimental

Adotou-se o delineamento em quadrado latino 6x6 para realização desse experimento.

Os tratamentos utilizados para avaliação consistiram em teor e fontes de fibra forragem ou não forragem (co-produtos) em rações para bovinos de corte, sendo:

- **Controle negativo (CN)** = inclusão de 10% da fração FDN de silagem de milho (com base na matéria seca da ração total);

- **Controle positivo (CP)** = inclusão de 20% da fração FDN de silagem de milho (com base na matéria seca da ração total);
- **Cana-de-açúcar (CAN)** = inclusão de 10% da fração FDN de cana-de-açúcar somado a inclusão de 10% da fração FDN de silagem de milho;
- **Bagaço de cana-de-açúcar *in natura* (BAG)** = inclusão de 10% da fração FDN de bagaço *in natura* de cana-de-açúcar em adição a inclusão de 10% da fração FDN de silagem de milho;
- **Casca de soja (CSOJ)** = inclusão de 10% da fração FDN de casca de soja em adição a inclusão de 10% da fração FDN de silagem de milho;
- **Torta de algodão desengordurada (TALG)** = inclusão de 10% da fração FDN de torta de algodão desengordurada em adição a inclusão de 10% da fração FDN de silagem de milho;

Com exceção do tratamento CN, todos os demais tratamentos apresentaram o mesmo teor da fração FDNf (FDN oriundo de fonte de fibra).

Foram realizados seis períodos experimentais de 19 dias cada, sendo 10 dias para adaptação às rações e nove dias de avaliação e colheita de amostras, totalizando 114 dias de experimento.

#### 4.2.3 Animais utilizados e rações experimentais

Foram utilizados seis bovinos machos castrados da raça Nelore, com peso médio inicial de  $408 \pm 12$  kg, contendo cânula no saco dorsal do rúmen, alojados em gaiolas metabólicas individuais do tipo tie-stall, com 1,05 m de largura e 2,10 m de comprimento, providas de bebedouro automático, comedouro, piso emborrachado e canaleta com caixa coletora de fezes.

Foi administrada aos animais injeção subcutânea de ivermectina no início do primeiro e terceiro período, de acordo com a recomendação do fabricante. Os animais foram pesados no início e final de cada período experimental.

As rações experimentais foram formuladas com base na composição em matéria seca, utilizando o NRC (1996), visando atender à exigência de proteína degradável no rúmen e proteína metabolizável (tabela 4.1).

Tabela 4.1 – Proporções dos ingredientes e níveis nutricionais das rações experimentais

Alimentos	Dietas (% na MS) <sup>1,2</sup>					
	CN	CP	BAG	CAN	CSOJ	TALG
Silagem de milho	19,9	39,8	19,9	19,9	19,9	19,9
Milho moído fino	76,2	56,2	63,6	54,4	63,0	57,1
Bagaço <i>in natura</i> de cana-de-açúcar	-	-	12,3	-	-	-
Cana-de-açúcar	-	-	-	21,3	-	-
Casca de soja	-	-	-	-	13,3	-
Torta de algodão desengordurada	-	-	-	-	-	20,3
Calcário	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Núcleo mineral	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Uréia	2,1	2,2	2,4	2,5	2,0	0,85
<b>Níveis nutricionais</b>						
NDT	74,21	70,00	68,12	69,14	72,58	74,59
FDN	20,12	29,21	28,22	27,02	27,92	28,62
FDNF/FDNNF <sup>3</sup>	10,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
PB	13,00	13,00	13,00	13,00	13,00	13,00

<sup>1</sup> Dietas: CN = controle negativo; CP = controle positivo; BAG = bagaço de cana-de-açúcar; CAN = Cana de açúcar *in natura*; CSOJ = Casca de soja; TALG = Torta de algodão desengordurada.

<sup>2</sup> Utilizou-se 25 ppm de monensina sódica como parte do concentrado de cada tratamento experimental.

<sup>3</sup>FDNF ou FDNNF = Fibra detergente neutro oriundo de forragem (silagem de milho, bagaço *in natura* de cana-de-açúcar ou cana-de-açúcar) e fibra detergente neutro não forragem (casca de soja ou torta de algodão desengordurada)

Todas as rações experimentais foram compostas por silagem de milho como ingrediente padrão, sendo que: controle negativo (inclusão de 10% da fração FDN de silagem de milho) e controle positivo (inclusão de 20% da fração FDN de silagem de

milho), os quatro tratamentos restantes continham a inclusão de 10% da fração FDN de silagem de milho em adição a inclusão de 10% da fração FDN de cada fonte de fibra a ser testada (cana-de-açúcar *in natura*, bagaço *in natura* de cana-de-açúcar, casca de soja e torta de algodão desengordurada) (figura 4.1).

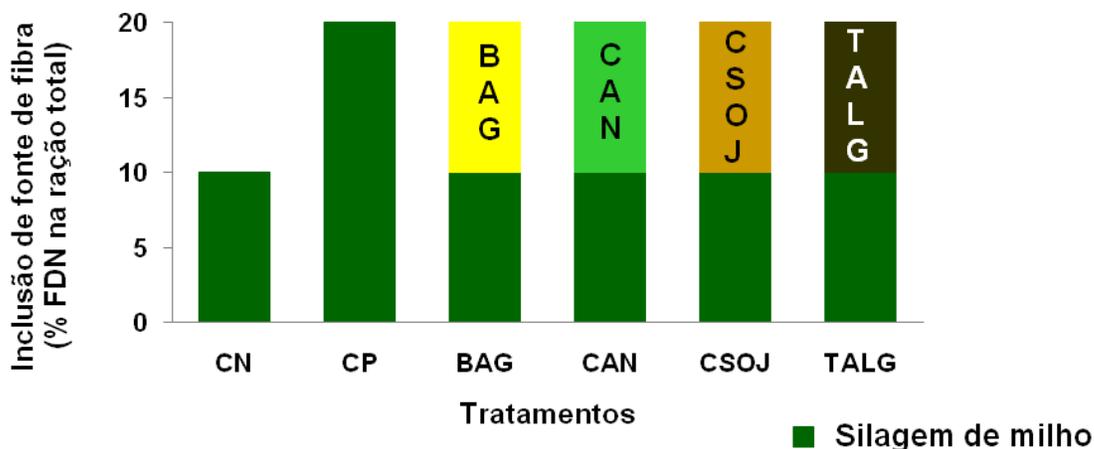


Figura 4.1 - Rações experimentais: CN = controle negativo; CP = controle positivo; BAG = bagaço *in natura* de cana-de-açúcar; CAN = cana-de-açúcar *in natura*; CSOJ = casca de soja; TALG = torta de algodão desengordurada

A composição química dos ingredientes das rações experimentais está apresentada na tabela 2.2. A mistura dos ingredientes concentrados foi realizada de forma manual, a cada dia, para cada animal/tratamento usando-se o milho grão finamente moído, uréia e núcleo mineral, além da inclusão de ionóforo (25 ppm de monensina sódica) como parte do concentrado de cada tratamento experimental.

Tabela 4.2 – Composição química dos ingredientes das rações experimentais

Alimentos	Dietas (% na MS)					
	Silagem milho	Milho moído fino	Bagaço de cana	Cana-de-açúcar	Casca soja	Torta algodão
Materia seca, %	35,56	89,85	50,40	31,04	94,48	81,22
Cinzas, %MS	4,53	1,28	3,80	4,10	3,42	3,72
FDN, %MS	57,49	11,55	74,06	43,49	69,03	51,98
FDA, %MS	36,35	3,70	62,48	30,41	55,53	35,96
Lignina, %MS	4,52	1,49	13,93	5,61	3,38	11,18
PB, %MS	7,75	8,45	2,83	3,91	10,45	25,70
EE, %MS	3,16	3,71	0,80	1,21	1,48	10,80
CNF, %MS <sup>1</sup>	27,07	75,01	0,65	47,29	15,62	7,80

<sup>1</sup> CNF - Carboidrato não fibroso = 100 – (fibra insolúvel em detergente neutro + proteína bruta + extrato etéreo + matéria mineral)

No momento do fornecimento das rações, as fontes de fibra forragem ou não forragem e os concentrados foram pesados e homogeneizados para cada animal individualmente. Os animais receberam as rações experimentais em mistura total uma vez ao dia (08:00 horas) em quantidade suficiente para permitir cerca de 5% de sobras de cocho.

A quantidade da ração fornecida diariamente, bem como as sobras em cada tratamento, foi quantificada durante todo o período experimental (19 dias), sendo que para os cálculos de consumo utilizou-se apenas o período entre o décimo primeiro dia ao décimo nono dia de avaliação de cada período.

#### 4.2.4 Colheita de dados e amostragens nos períodos de avaliação

Durante os nove dias de colheita de amostras de cada período experimental (décimo primeiro dia ao décimo nono dia de avaliação), procedeu-se rotina pré-estabelecida de avaliações, colheita de dados e amostragens, conforme descritas a seguir.

#### **4.2.4.1 Amostras de fontes de fibra, concentrados, rações totais e sobras**

Durante o período entre o décimo primeiro dia ao décimo nono dia de avaliação, pela manhã, amostra de ração da mistura total foi retirada do cocho, após a mistura manual dos ingredientes, bem como, amostras de sobras de cocho. Cada amostra coletada foi destinada à secagem em estufa de ventilação forçada a 55°C, para que fosse possível realizar os cálculos de consumo de matéria seca, como também, para a estimativa da composição bromatológica de cada tratamento. Simultaneamente, amostras de cada ingrediente incluído às rações experimentais foram coletadas uma vez a cada período, objetivando determinar a composição bromatológica e o teor de matéria seca, para que fosse possível a cada período reajustar a proporção de cada ingrediente na ração total.

#### **4.2.4.2 Parâmetros ruminais**

Foi realizado o monitoramento do pH ruminal a cada duas horas durante vinte e quatro horas. A determinação do pH ruminal foi realizada com o auxílio de peagâmetro portátil. Duas alíquotas de 50 mL foram conservadas e congeladas em *freezer* (-20°C) para posterior análises de nitrogênio amoniacal (N-NH<sub>3</sub>) e ácidos graxos de cadeia curta (AGCC). As concentrações dos AGCC foram determinadas por cromatografia líquida-gasosa segundo Palmquist e Conrad (1971), e a concentração de N-NH<sub>3</sub> no fluido ruminal foi avaliado conforme método de Chaney e Marback (1962).

#### **4.2.4.3 Colheita total de fezes e digestibilidade aparente**

A colheita total de fezes para determinação da digestibilidade aparente de nutrientes foi realizada durante 96 horas, com esvaziamento das caixas às 8:00 horas, às 14:00 horas e às 17:00 horas.

As fezes, recolhidas nas caixas coletoras, foram pesadas e amostradas em 20% do total excretado. Essas amostras foram armazenadas em sacos plásticos e

congeladas a -20 °C. Também, amostras de fezes foram separadas para determinação da matéria seca em estufa de ventilação forçada a 55 °C.

Ao final de cada período de avaliação, as amostras foram homogeneizadas e retirou-se uma sub-amostra por tratamento, de aproximadamente 500g, que foi colocada em bandeja de alumínio e levada a estufa de ventilação forçada a 55 °C para secagem.

O cálculo da digestibilidade aparente de nutrientes da ração fornecida aos animais foi realizado conforme a equação número 1.

$$Dap = \frac{[(MSof * TNof) - (MSsb * TNsb)] - (MSfz * TNfz)}{[(MSof * TNof) - (MSsb * TNsb)]} \times 100 \quad (1)$$

em que:

Dap = Digestibilidade aparente do nutriente (%);

MSof = Quantidade de matéria seca oferecida (kg);

TNof = Teor do nutriente na MS oferecida (%);

MSsb = Quantidade de matéria seca das sobras (kg);

TNsb = Teor do nutriente na MS das sobras (%);

MSfz = Quantidade de matéria seca fecal (kg);

TNfz = Teor do nutriente na MS fecal (%).

#### 4.2.4.4 Análises bromatológicas

As amostras compostas das rações totais, fontes de fibra, concentrados e sobras, após serem secas em estufa (SILVA, 1981), foram moídas em peneira de 1 mm de porosidade em moinho tipo Wiley, e armazenadas em sacos plásticos para determinações bromatológicas. As análises convencionais realizadas foram respectivamente: MS, cinzas e extrato etéreo (AOAC, 1995). O teor de PB foi obtido mediante combustão das amostras segundo método Dumas, usando-se um auto-analisador de nitrogênio marca LECO<sup>®</sup>, MODELO FP-528 (WILES, GRAY; KISSLING, 1998).

Os teores da fibra insolúvel em detergente neutro (FDN), fibra insolúvel em detergente ácido (FDA) e lignina foram determinadas seqüencialmente de acordo com método proposto por Van Soest; Robertson; Lewis (1991). Na determinação da fração FDN foram incluídos o sulfito de sódio e a amilase termoestável (Termamyl 120 L) e na determinação de lignina foi utilizada solução de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 72%.

Amostras de fezes após secas em estufa (SILVA, 1981) foram moídas em peneira de 1 mm de porosidade em moinho tipo Wiley e usadas para determinação de MS, MM, FDN e FDA, como descrito anteriormente.

#### **4.2.4.5 Determinação da degradabilidade *in situ***

A degradação ruminal da MS e da fração FDN da silagem de milho, do bagaço *in natura* de cana-de-açúcar, da cana-de-açúcar, da casca de soja e da torta de algodão desengordurada foi avaliada utilizando-se sacos de náilon contendo porosidade de 50 micra, medindo 10 x 15 cm de área útil, inseridos no rúmen em triplicata, para cada tratamento e horário de incubação, segundo método proposto por HUNTINGTON e GIVENS (1995).

Durante cada período experimental, na fase de adaptação, foram colhidas amostras das fontes de fibra de cada tratamento, usadas para incubação nos sacos de náilon. As amostras foram secas em estufa de ventilação forçada a 55 °C, por 72 horas, e moídas em seguida por moinho do tipo Wiley contendo peneira de 5 mm de diâmetro de orifício. Dessas amostras moídas retirou-se uma nova alíquota para determinação das MS a 105 °C, por oito horas.

Os sacos de náilon tiveram o seu peso vazio anotado, sendo preenchidos com aproximadamente 6,0 g de MS de cada fonte de fibra avaliada, respeitando a relação de 20 mg/cm<sup>2</sup> (NOCEK, 1988). As pesagens foram realizadas em balança de precisão, com quatro casas decimais. Após a pesagem dos sacos, estes foram selados e amarrados ao meio com linha de náilon contendo espessura de 0,6 mm, para que cada saco pudesse ser posteriormente preso aos elos da corrente destinada a imersão no conteúdo ruminal.

Foram adotados oito tempos de incubação: 0, 6, 12, 18, 24, 36, 48 e 96 horas. A incubação foi realizada em ordem cronológica inversa, com finalidade de retirar todos os sacos ao mesmo tempo, com exceção dos sacos pertencentes ao tempo zero, que não chegaram a ser incubados, mas foram lavados juntamente aos demais.

No momento da retirada, os sacos sem as argolas foram lavados em água corrente por aproximadamente duas horas, até que a água não apresentasse sinais de resíduos de fluído ruminal. O excesso de água nos sacos foi retirado por leve pressão manual e esses foram levados à estufa de ventilação forçada a 55 °C por aproximadamente 72 horas, até secagem completa. Após a secagem, os sacos foram novamente pesados e o resíduo quantificado para posterior cálculo da taxa de desaparecimento. Os resíduos das triplicatas de cada tempo de incubação referente a cada tratamento e período foram agrupados, formando uma única amostra composta que foi moída em moinho do tipo Wiley provido de peneira com orifício de 1 mm para posteriores determinações químico-bromatológicas.

Os dados de degradabilidade *in situ* da MS foram obtidos pela diferença de peso encontrada entre as pesagens antes e depois das incubação ruminal e expressos em porcentagem.

Foram realizadas as análises para determinação da MS e fração FDN. A determinação da MS foi realizada de acordo com AOAC (1990) e a fração FDN foi realizada segundo metodologia de Van Soest et al. (1991), com adição de sulfito de sódio e a amilase termoestável (Termamyl 120 L).

Os teores da MS e da fração FDN foram obtidos por meio do modo proposto por Vieira; Tedeschi; Cannas (2008a) denominado de *Generalized Compartmental Model of Digestion* (GCMD), conforme equação descrita abaixo:

$$R(t) = \tilde{A}_{FDN} \left\{ \delta_a^{N_a} \exp(-k_a t) + v \exp(-\lambda_a t) \sum_{i=0}^{N_a-1} \left[ \frac{(1 - \delta_a^{N_a-i})(\lambda_a t)^i}{i!} \right] \right\} + U_{FDN} + e \quad (2)$$

em que:

$R(t)$  = Resíduo de incubação da FDN;

$\tilde{A}_{FDN} = 1 - U_{FDN}$  (forma indisponível da fração potencialmente digestível da fração FDN);

$$\delta_a^{Na} = \lambda_a / (\lambda_a - k_d);$$

$\lambda_a$  = taxa assintótica de preparação do substrato ( $h^{-1}$ );

$k_d$  = representa a taxa de degradação das frações ( $h^{-1}$ );

$t$  = representa o tempo (h);

$v$  = representa uma variável binária a qual é atribuído o valor 0 ou 1 sob condições especiais;

$N_a$  = representa a interação positiva do modelo tempo-dependente com o tempo de preparo do  $\tilde{A}_{FDN}$  para a digestão;

$i$  = representa o índice que denota a ordem de dependência do tempo que varia conforme o  $N_a$  ou  $N_b$ ;

$U_{FDN}$  = representa a fração indigestível da fração FDN;

$e$  = erro aleatório suposto  $Niid(0, \sigma^2)$ .

Para os componentes MS foram estimadas as frações: A, e U; para o componente da fração FDN foram estimadas as frações: An e Un. A fração An é aquela potencialmente digestível da matéria seca disponível para ser digerida pelos microrganismos ruminais (valor expresso em porcentagem) e Un é a fração indigestível da matéria seca expressa em porcentagem. Essa equação de regressão (número 2) também foi utilizada, para o que foi denominado de regressão robusta. Na análise de regressão robusta incluiu-se no modelo o valor de sigma, o qual foi adotado como desvio padrão residual para otimização do método dos quadrados mínimos não-lineares. A regressão robusta utiliza critérios estatísticos para atribuir “pesos” menores para valores muito discrepantes ou fatores não controlados. O risco da utilização dessa forma de regressão está em se utiliza uma variável não controlável, havendo com isso erro sistemático (análises laboratoriais).

Para estimar a degradabilidade efetiva de cada fonte de fibra, foram utilizados os valores da taxa de partículas escapáveis do total de partículas (processadas) escapáveis do rúmen retículo ( $k_e$ ) calculados por meio do uso do marcador de fase sólida (acetato de itérbio).

O tempo médio de preparação do substrato em horas (TMP) foi calculado da seguinte forma:

$$\text{TMP} = \frac{N_a}{\lambda_a}$$

(3)

Em que:

$N_a$  = representa a ordem tempo dependente para transferir a partícula do *raft* para o total de partículas escapáveis (ordem de dependência da função gama);

$\lambda_a$  = taxa assintótica de preparação do substrato ( $h^{-1}$ ).

O tempo médio de digestão em horas (TMD) foi calculado da seguinte forma:

$$\text{TMD} = \frac{N_a}{\lambda_a} + \frac{1}{k_d} \quad (4)$$

Em que:

$k_d$  = representa a taxa de degradação da fração A. Os demais parâmetros têm o mesmo significado descrito anteriormente.

#### 4.2.4.6 Taxa de passagem

As taxas fracionárias ou simplesmente taxas de passagem foram determinadas com o uso de fibra marcada com acetato de itérbio e Cr-EDTA como marcadores para estudo dos parâmetros da cinética de passagem de partículas e de fluidos, respectivamente, sendo os marcadores quantificados nas fezes dos animais.

No décimo quarto dia de cada período experimental estes marcadores foram administrados aos animais via cânula ruminal, em dose única. Três horas após a alimentação, 2,0 litros de Cr-EDTA (BINNERTS et al., 1968) e 50 g de fibra marcada com acetato de itérbio (de VEGA e POPI, 1997) foram introduzidos no rúmen em vários pontos. Ambos os marcadores foram preparados com antecedência, sendo que no caso do acetato de itérbio, cada animal recebeu a respectiva fibra marcada que estava sendo testada naquele período experimental. Vale ressaltar que todas as fontes de

fibra avaliadas, não sofreram moagem prévia, sendo marcadas na sua forma íntegra, mantendo a integridade original das partículas do ingrediente.

Amostras de fezes, para determinação das concentrações dos elementos cromo e itérbio, foram coletadas diretamente da ampola retal dos animais nos tempos: zero, 6, 12, 18, 24, 30, 36, 42, 48, 54, 60, 66, 72, 78, 84, 99 e 105 horas após o fornecimento dos marcadores, para estimação dos parâmetros de cinética de passagem de partículas e de fluidos. As amostras foram pesadas, secas imediatamente, em estufa de ventilação forçada a 55° C (Silva, 1981), e então moídas em peneira com orifícios de 1 mm de porosidade em moinho tipo Wiley para posterior análise dos marcadores. As amostras de fezes foram submetidas à análise de seus teores de cromo e itérbio conforme método proposto por de Veja e Poppi (1997).

As estimativas dos parâmetros da cinética de passagem de partículas foram determinadas por meio do ajuste dos dados ao modelo bicompartimental, que descreve o mecanismo de escape de partículas com probabilidade gama distribuída no primeiro compartimento, pressupondo-se que corresponda à malha filtrante do rúmen ou *raft*, constituída de partículas recém-ingeridas. No segundo compartimento, foi suposta a distribuição exponencial no compartimento (pressupondo-se que corresponda à parte ventral do rúmen, constituída de partículas pequenas dispersas na fase líquida. Considerando-se as ordens de dependência de tempo para a função gama,  $\Gamma(N, \lambda_r, t)$ , o modelo GnG1 foi obtido segundo a equação descrita a seguir, permitindo N variar entre 1 e 6 (VIEIRA, TEDESCHI; CANNAS, 2008b).

$$C(t) = C_0 k_e \left\{ \delta^N \exp[-k_e(t - \tau)] - \exp[-\lambda_r(t - \tau)] \sum_{i=1}^n \delta^i [\lambda_r(t - \tau)]^{N-i} / (N - i)! \right\} + e \quad (5)$$

Em que:

$C(t)$  = representa a concentração do indicador na matéria seca fecal;

$C$  ( $\text{mg kg}^{-1}$  MS fecal) = representa a concentração inicial do indicador no segundo compartimento do rúmen;

$\lambda_r$  ( $\text{h}^{-1}$ ) = representa taxa de partículas escapáveis do total de partículas (processadas) escapáveis do rúmen retículo;

$k_e$  ( $h^{-1}$ ) = representa a taxa de passagem no rúmen retículo com probabilidade de escape de partículas exponencialmente distribuídas;

$t$  (h) = representa o tempo após o fornecimento do indicador;

$$\delta = \lambda_r / (\lambda_r - k_e);$$

$\tau$  = tempo de trânsito do indicador entre a saída do segundo compartimento e sua primeira detecção na matéria fecal (h);

$e_i$  = é o erro aleatório associado à  $i$ -ésima observação.

Neste modelo geral, convencionalmente supõe-se que  $\lambda_r > k_e$ .

A taxa de passagem de fluido ruminal foi estimada a partir do modelo descrito por Pond et al. (1988), conforme a equação a seguir:

$$C(t) = C_0 \frac{[\lambda_i(t - \tau)]^{i-1} \exp[\lambda_i(t - \tau)]}{[(i - 1)! F] + e} \quad (6)$$

No modelo previamente descrito, a taxa de passagem assintótica de líquidos pelo rúmen corresponde a  $\lambda_i$  e  $C_0$ ,  $\tau$  e  $t$  possuem o mesmo significado descrito para a Equação (5). A ordem de dependência do tempo é caracterizada pelo expoente  $i$ , ao qual podem ser atribuídos valores inteiros positivos. O ajuste do modelo aos perfis de excreção fecal de indicadores de fase líquida exige que  $i > 1$ . Para valores de  $i$  variando entre 2 e 6, os valores da constante  $F$  são 0,59635, 0,47454, 0,40857, 0,36528 e 0,33929, respectivamente. O valor esperado para a taxa média de passagem de líquidos foi estimado pela expressão  $\bar{k}_i = F\lambda_i$ .

Os parâmetros  $\lambda_r$ ,  $k_e$ ,  $\tau$  e  $C_0$  foram estimados por meio do algoritmo de Marquardt, utilizando-se o método iterativo de mínimos quadrados não-lineares do programa SAS (2001), conforme a rotina de programação no procedimento NLIN utilizada, por VIEIRA, TEDESCHI; CANNAS (2008b). As combinações das 36 observações correspondentes aos seis tratamentos, seis animais e seis 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 (MOORE; POND; POORE, 1992). Os modelos selecionados foram empregados para obtenção das estimativas dos tempos médios de retenção ruminal de partículas (TMRR) sendo calculados conforme a equação recomendada por Lira et al. (2006):

$$\text{TMRR}_p = \frac{N}{\lambda_r} + \frac{1}{k_s} \quad (7)$$

Em que:

N = representa a ordem tempo dependente para transferir a partícula do *raft* para o total de partículas escapáveis (ordem de dependência do tempo para a função gama).

As estimativas dos parâmetros de cinética de passagem de fluidos foram obtidas por meio do ajuste do modelo descrito na equação 6. Assim, o tempo médio de retenção ruminal da fase líquida (TMRR) foi calculado de acordo com a expressão:

$$\text{TMRR}_L = \frac{1}{\bar{k}_l} \quad (8)$$

O tempo médio de retenção total em horas foi calculado tanto para a fase sólida, quanto para a fase líquida da seguinte forma:

$$\text{TMRT} = \tau + \text{TMRR} \quad (9)$$

#### 4.2.4.7 Cálculo de repleção ruminal

Para o cálculo de repleção ruminal (RR), em gramas da fração FDN no rúmen por quilo de massa corporal, utilizou-se a equação sugerida por VIEIRA, TEDESCHI; CANNAS, 2008b

$$\sum_j \left\{ F_{FDNj} \left[ A_j \left\{ \sum_{i=1}^{N_j} \left[ \frac{\lambda_{rj}^{i-1}}{(\lambda_{rj} + k_{dj})^i} \right] + \frac{\lambda_{rj}^{N_j}}{[(\lambda_{rj} + k_{dj})^{N_j} (k_{ej} + k_{dj})]} \right\} + U_j \left( \frac{N_j}{\lambda_{rj}} + \frac{1}{K_{ej}} \right) \right] \right\} \quad (10)$$

Em que:

$F_{FDNj}$  = Consumo de FDN do jésimo ingrediente da ração (g/d);

$A_j$  = fração potencialmente digestível da matéria seca disponível para ser digerido pelos microrganismos ruminais do j-ésimo ingrediente da ração;

$\lambda_{r,j}$  ( $h^{-1}$ ) = representa taxa de partículas escapáveis do total de partículas (processadas) escapáveis do rúmen retículo;

$k_{e,j}$  ( $h^{-1}$ ) = representa a taxa de passagem no rúmen retículo com probabilidade de escape de partículas exponencialmente distribuídas;

$k_{d,j}$  = taxa de degradação da fração A;

$U_j$  = representa a fração indigestível da fibra do j-ésimo ingrediente da ração;

$N_j$  = representa a ordem tempo dependente para transferir a partícula do *raft* para o total de partículas escapáveis (ordem de dependência da função gama).

#### 4.2.4.8 Análise estatística

A análise estatística foi realizada para delineamento experimental em quadrado latino 6 x 6 utilizando o procedimento MIXED do SAS (LITTELL et al., 2006) incluindo no modelo, efeitos de tratamento, período e animal.

Modelo estatístico:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + P_j + T_k + e_{ijk}$$

em que:

$\mu$  = média geral;

$A_i$  = efeito de animal ( $i = 1$  a 7);

$P_j$  = efeito de período ( $j = 1$  a 7);

$T_k$  = efeito de tratamento ( $k = 1$  a 7);

$E_{ijk}$  = resíduo aleatório.

Os dados referentes aos parâmetros da cinética ruminal obtidos pelos ensaios de degradação *in situ* e da taxa de passagem foram analisados pelo procedimento de modelos mistos com base no modelo estatístico:

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \alpha_j + p_k + e_{ijkl}$$

As possíveis matrizes de covariâncias e variâncias foram testadas para as seguintes estruturas: componentes de variância, simetria composta, variância alto-regressiva e toeplitz com base no critério de informação de Akaike (1979) e conforme as correções sugeridas por BURNHAM e ANDERSON (2004).

As análises foram realizadas utilizando o modelo estatístico SAS (LITTELL et al., 2006). Os mesmos critérios de seleção de modelos (BURNHAM e ANDERSON, 2004) foram adotados para a escolha da ordem de dependência de tempo nos modelos de degradação (2) e passagem (5).

Para comparação das médias de consumo, conteúdo ruminal, consistência do “mat” ruminal ou “raft”, repleção ruminal e digestibilidade dos nutrientes foram utilizadas as Médias dos Quadrados Mínimos (LSM), mediante procedimento MIXED do SAS, considerando que os efeitos de período e animais são aleatórios, o que compõe um modelo misto. Da mesma forma, o pH ruminal teve suas médias comparadas pelo procedimento MIXED, como avaliações repetidas no tempo. O critério de rejeição ou não rejeição das hipóteses nulas foi pautado pelo nível de probabilidade de 0,05, embora os valores P tenham sido relatados nos resultados.

A utilização e os cuidados adotados com os animais estavam em conformidade com a legislação pertinente quanto aos princípios éticos na experimentação com animais, conforme parecer da Comissão de Ética da instituição em que foi realizada a pesquisa.

## 4.3 Resultados e Discussão

### 4.3.1 Consumo e Repleção ruminal

Houve diferença ( $P < 0,05$ ) no CMS em bovinos de corte recebendo rações contendo diferentes fontes e nível de fibra (figura 4.2). Maior CMS foi observado nos tratamentos CP e TALG (9,20 e 9,52 kg/dia, respectivamente) e menor valor foi encontrado para o tratamento BAG (6,97 kg/dia). Entretanto, bovinos recebendo rações contendo inclusão de 10% da fração FDN de cana-de-açúcar ou 10% da fração FDN de casca de soja apresentaram resultados intermediários (8,60 e 8,83 kg/dia, respectivamente).

Em média, rações contendo inclusão de bagaço *in natura* de cana-de-açúcar reduziram em 24,24% o CMS quando comparado com o tratamento CP contendo o mesmo teor da fração FDN oriundo de forragem. Por sua vez, a substituição de 10% da fração FDN de silagem de milho por 10% da fração FDN de cana-de-açúcar promoveu redução em apenas 6,5% no CMS de bovinos de corte.

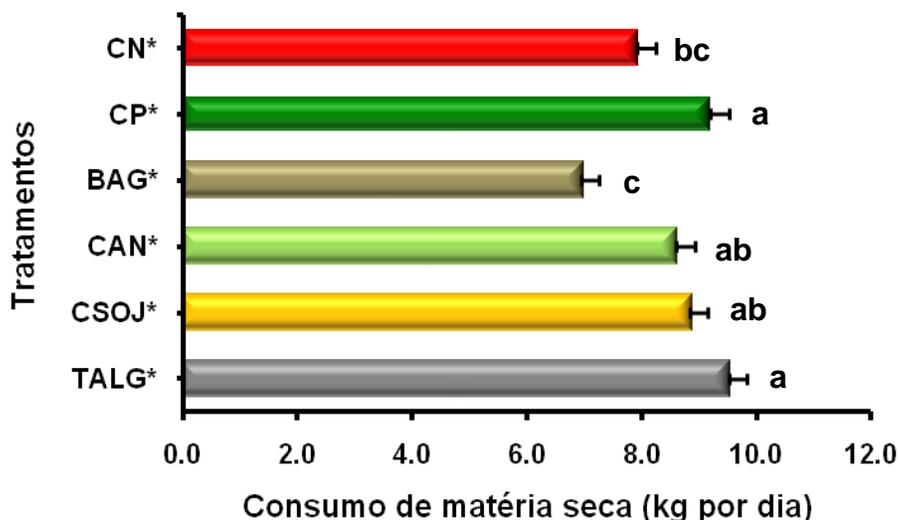


Figura 4.2 – Influência da fonte e do nível de fibra no consumo de matéria seca de rações oferecidas à bovinos de corte

\*CN = Controle negativo (10% de FDN de silagem de milho - % MS); CP = Controle positivo (20% de FDN de silagem de milho - % MS); BAG = Bagaço de cana-de-açúcar *in natura* (10% de FDN de BAG e 10% de FDN de silagem de milho - % MS); CAN = Cana-de-açúcar *in natura* (10% de FDN de CAN e 10% de FDN de silagem de milho - % MS); CSOJ = Casca de soja (10% de FDN de CSOJ e 10% de FDN de silagem de milho - % MS); TALG = Torta de algodão desengordurada (10% de FDN de TALG e 10% de FDN de silagem de milho - % MS)

<sup>ab</sup> Letras distintas nas linhas indicam diferença estatística pelo LSMeans ao nível de 5%.

Tal comportamento sugere que o CMS referente ao tratamento CN foi controlado pelo atendimento da demanda energética do animal (ração contendo 74,21% de NDT) e por fatores metabólicos em virtude deste tratamento apresentar maior coeficiente de digestibilidade aparente da MS da RT (77,10%) (tabela 4.8). Em conformidade com tais evidências, corrobora essa tendência o valor de repleção ruminal (em gramas da fração FDN no rúmen por quilo de massa corporal) semelhante ao tratamento CP (figura 4.3), o que elimina a idéia de que a depressão do consumo de MS provocada pelo tratamento CP se deu por efeito de repleção ruminal. Por outro lado, o controle do CMS observado no tratamento BAG sugere a influência do efeito físico resultante do maior valor de repleção ruminal (figura 4.3), com o resultado da menor taxa de partículas escapáveis do rúmen ( $k_e$ ) (tabela 4.6), do baixo coeficiente de digestibilidade aparente

da MS e da fração FDN da RT (69,63%) (tabela 4.8) e do maior tempo médio de retenção no rúmen retículo de partículas do bagaço *in natura* de cana-de-açúcar (tabela 4.6).

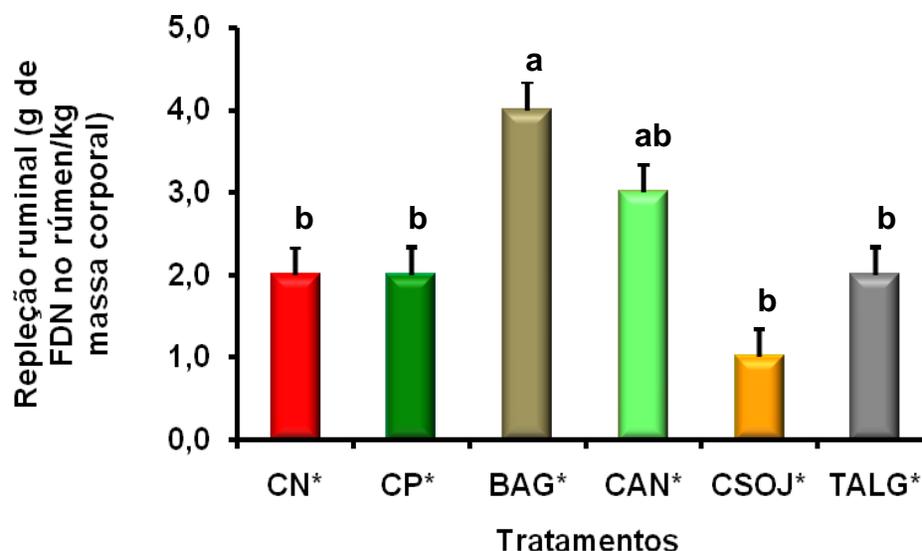


Figura 4.3 – Efeito de repleção ruminal em gramas da fração fibra detergente neutro contida no rúmen por quilo de massa corporal de bovinos alimentados com fontes e níveis de fibra

\*CN = Controle negativo (10% de FDN de silagem de milho - % MS); CP = Controle positivo (20% de FDN de silagem de milho - % MS); BAG = Bagaço de cana-de-açúcar *in natura* (10% de FDN de BAG e 10% de FDN de silagem de milho - % MS); CAN = Cana-de-açúcar *in natura* (10% de FDN de CAN e 10% de FDN de silagem de milho - % MS); CSOJ = Casca de soja (10% de FDN de CSOJ e 10% de FDN de silagem de milho - % MS); TALG = Torta de algodão desengordurada (10% de FDN de TALG e 10% de FDN de silagem de milho - % MS)

Estes resultados estão de acordo com o postulado por Van Soest, (1994) que estabeleceu a relação entre a concentração de energia na ração e o consumo de MS em bovinos de corte, com base no conceito de que o consumo de rações de menor digestibilidade e de baixa energia (altos percentuais em fibra) é controlado por fatores físicos tais como repleção ruminal e taxa de passagem. Por outro lado, o consumo de rações de alta digestibilidade e alta energia (baixa fibra e alta proporção de concentrados) é controlado pelo atendimento da demanda energética do animal e por fatores metabólicos.

Como demonstrado na figura 4.3, utilizando os dados de consumo da fração FDN da ração total, de degradabilidade *in situ* da fração FDN e da taxa da passagem do nível e fontes de fibra estudadas, foi possível calcular o efeito de repleção ruminal conforme equação número 9 apresentada no item 4.2.4.8 sugerida por Vieira; Tedeschi; Cannas, (2008b).

Rações contendo inclusão de 10% da fração FDN de FFNF (tratamento CSOJ e TALG) e 20% da fração FDN de silagem de milho (tratamento CP), apresentaram menores valores de repleção ruminal (1, 2 e 2 gramas da fração FDN no rúmen por quilo de massa corporal, respectivamente) ( $P < 0,05$ ) em comparação ao tratamento BAG (4 gramas da fração FDN no rúmen por quilo de massa corporal). Por outro lado, valores intermediários foram observados no tratamento CAN que apresentaram valor de repleção ruminal contendo 3 gramas da fração FDN no rúmen por quilo de massa corporal.

Variações nas taxas de digestão e de passagem da fibra pelo rúmen alteram o valor de repleção ruminal, afetando o consumo e, conseqüentemente, o desempenho do animal (NRC, 1996). Havendo redução na digestibilidade da fibra, o valor de repleção ruminal (*rumen fill*) da ração aumenta e pode alcançar o limite físico de ingestão, o que restringe o consumo. Nesse cenário, Oba e Allen (1999), ao estudarem a importância da digestibilidade da fração FDN de 13 grupos de forragens sobre o CMS de vacas em lactação, concluíram que a cada aumento de uma unidade percentual da digestibilidade da fração FDN foi associado o aumento de 0,17 quilos por dia no CMS. Este mesmo comportamento relatado por Oba e Allen (1999) foi observado no presente trabalho após a comparação entre o tratamento CP e o tratamento BAG, o que confirmou que para cada unidade percentual da digestibilidade da fração FDN foi também associado o aumento de 0,17 quilos por dia no CMS de rações formuladas para bovinos de corte.

#### 4.3.2 Parâmetros ruminais

A concentração total de ácidos graxos de cadeia curta (AGCC) foi significativamente alterada ( $P < 0,05$ ) em função do teor e da fonte de fibra em rações para bovinos de corte (tabela 4.3).

Tratamento CSOJ apresentou maior concentração molar de AGCC (119,00 mM) em comparação ao tratamento TALG (107,94 mM). O menor tempo de mastigação observado em bovinos recebendo o tratamento CSOJ (tabela 2.5, capítulo 2), pode ser a explicação da maior proporção de ácidos produzidos neste tratamento. Não houve diferença ( $P > 0,05$ ) entre as rações: CN, CP, BAG e CAN (114,41, 114,51, 108,91, 110,16 mM, respectivamente) quanto a concentração molar de AGCC.

Tabela 4.3 – Médias de ácidos graxos de cadeia curta (AGCC), pH e nitrogênio amoniacal observados no fluido ruminal de bovinos alimentados com rações contendo fontes e nível de fibra

Variável <sup>3</sup>	Ração total <sup>1</sup>						EP	P
	CN	CP	BAG	CAN	CSOJ	TALG		
AGCC (mM)								
C2	63,81	67,87	65,60	64,48	70,00	62,45	3,42	0,0626
C3	29,62 <sup>a</sup>	26,50 <sup>ab</sup>	23,67 <sup>b</sup>	26,80 <sup>ab</sup>	28,17 <sup>a</sup>	25,80 <sup>b</sup>	0,88	0,0328
C4	15,50 <sup>a</sup>	13,80 <sup>ab</sup>	12,80 <sup>b</sup>	14,15 <sup>ab</sup>	14,80 <sup>ab</sup>	13,60 <sup>ab</sup>	0,40	<,0001
C5	1,20 <sup>a</sup>	1,10 <sup>ab</sup>	1,00 <sup>ab</sup>	0,91 <sup>b</sup>	1,12 <sup>a</sup>	1,15 <sup>a</sup>	0,04	0,0043
IC4 + IC5	4,31	5,34	5,76	4,00	5,24	4,74	0,48	0,4436
C2:C3	2,20 <sup>b</sup>	2,63 <sup>ab</sup>	2,88 <sup>a</sup>	2,50 <sup>ab</sup>	2,53 <sup>ab</sup>	2,46 <sup>ab</sup>	0,10	0,0490
AGCC total	114,41 <sup>ab</sup>	114,51 <sup>ab</sup>	108,91 <sup>ab</sup>	110,16 <sup>ab</sup>	119,00 <sup>a</sup>	107,94 <sup>b</sup>	5,00	0,0392
Amonia (mg/dL)	19,31 <sup>b</sup>	23,80 <sup>ab</sup>	22,12 <sup>ab</sup>	25,30 <sup>a</sup>	23,16 <sup>ab</sup>	13,00 <sup>c</sup>	0,70	<,0001
pH	5,84 <sup>c</sup>	6,10 <sup>ab</sup>	6,23 <sup>a</sup>	6,20 <sup>a</sup>	6,00 <sup>bc</sup>	6,21 <sup>a</sup>	0,03	<,0001

<sup>1</sup>CN = Controle negativo (10% de FDN de silagem de milho - % MS); CP = Controle positivo (20% de FDN de silagem de milho - % MS); BAG = Bagaço de cana-de-açúcar *in natura* (10% de FDN de BAG e 10% de FDN de silagem de milho - % MS); CAN = Cana-de-açúcar *in natura* (10% de FDN de CAN e 10% de FDN de silagem de milho - % MS); CSOJ = Casca de soja (10% de FDN de CSOJ e 10% de FDN de silagem de milho - % MS); TALG = Torta de algodão desengordurada (10% de FDN de TALG e 10% de FDN de silagem de milho - % MS)

<sup>2</sup>Efeitos: 1 = tratamentos; 2 = horário de coleta; 3 = interação tratamento x horário de coleta.

<sup>3</sup>AGCC = ácidos graxos de cadeia curta; C2 = ácido acético; C3 = ácido propiônico; C4 = ácido butírico; IC4 + IC5 = ácido idobutírico + ácido isovalérico; C5 = Ácido valérico.

<sup>ab</sup> Letras distintas na mesma linha indicam diferença estatística pelo LSMeans ao nível de 5%.

A concentração molar de ácido acético e a somatória dos ácidos isobutírico e isovalérico no conteúdo ruminal não apresentaram diferença ( $P > 0,05$ ) entre as rações contendo diferentes fontes e teor de fibra, com médias de 65,70 e 4,90 mM para as duas variáveis, respectivamente.

Rações contendo apenas 10% da fração FDN de silagem de milho na RT (tratamento CN) ou rações contendo inclusão de 10% da fração FDN de casca de soja (tratamento CSOJ) apresentaram maior proporção molar de ácido propiônico (29,62 e 28,17 mM, respectivamente) em comparação aos tratamentos BAG e TALT (23,67 e 25,80 Mm, respectivamente). Contudo, rações contendo 20% da fração FDN de silagem

de milho (tratamento CP) ou a substituição de 10% desta fração por cana-de-açúcar (tratamento CAN) apresentaram resultados intermediários em comparação aos demais tratamentos quanto à concentração molar do ácido propiônico.

Maior proporção molar do ácido butírico foi observada no conteúdo ruminal de bovinos alimentados com o tratamento CN (15,50 mM), diferindo ( $P < 0,05$ ) do tratamento BAG (12,80 mM). Por outro lado, tratamentos CP, CAN, CSOJ e TALG apresentaram resultados semelhantes ( $P > 0,05$ ) com média de 14,10 mM.

Maior concentração molar do ácido valérico foi observada nos tratamentos CN, CSOJ e TALG (1,20, 1,12, 1,15 mM, respectivamente), diferindo do tratamento CAN que apresentou a menor proporção no conteúdo ruminal (0,91 mM).

Rações contendo apenas 10% da fração FDN de silagem de milho (tratamento CN) apresentaram menor relação acetato:propionato (C2:C3) (2,20 mM). A exceção ao tratamento BAG que demonstrou maior relação C2:C3 (2,88 mM), os demais tratamentos apresentaram resultados semelhantes ( $P > 0,05$ ) com média de 2,53 mM para os tratamentos: CP, CAN, CSOJ e TALG.

Maior teor de nitrogênio amoniacal ruminal foi observado no tratamento CAN (25,30 mg/dL), em oposição ao tratamento CN (19,31 mg/dL). Tratamentos: CP, BAG e CSOJ apresentaram resultados semelhantes (23,80, 22,12 e 23,16 mg/dL, respectivamente) quanto à concentração de nitrogênio amoniacal ruminal. Importante observar que ao substituir 10% da fração FDN de silagem de milho por torta de algodão desengordurada menor inclusão de uréia (0,85% na MS da RT) foi necessária para atingir nível de 13% de proteína bruta na MS da ração total (tabela 4.2). Dessa forma, menor teor de nitrogênio amoniacal ruminal foi observado no tratamento TALG (13,00) em comparação aos demais tratamentos avaliados. Os valores médios de pH ruminal foram influenciados pelo nível e fonte de fibra (tabela 4.3). A substituição de 10% da fração FDN de silagem de milho por bagaço *in natura* de cana-de-açúcar, cana-de-açúcar e torta de algodão desengordurada (tratamentos BAG, CAN e TALG) apresentaram valores médios de pH ruminal superiores aos demais tratamentos avaliados (6,23, 6,20 e 6,21). Contudo, a substituição na mesma proporção da fração FDN por casca de soja, causou menor valor médio de pH ruminal em comparação aos tratamentos BAG, CAN e TALG.

O menor valor de pH ruminal observado no tratamento CN (5,84), em comparação aos demais tratamentos avaliados, pode ser explicado pela maior proporção de concentrado nesta ração quando comparado às rações contendo 20% da fração FDN de fonte de fibra. Além disso, alterações no padrão de consumo (figura 4.2) e na atividade de mastigação (somatório do consumo e ruminação) entre os diversos tratamentos (tabela 2.5, capítulo 2) podem ter sido as causas preponderantes para as variações no pH ruminal encontradas no presente trabalho.

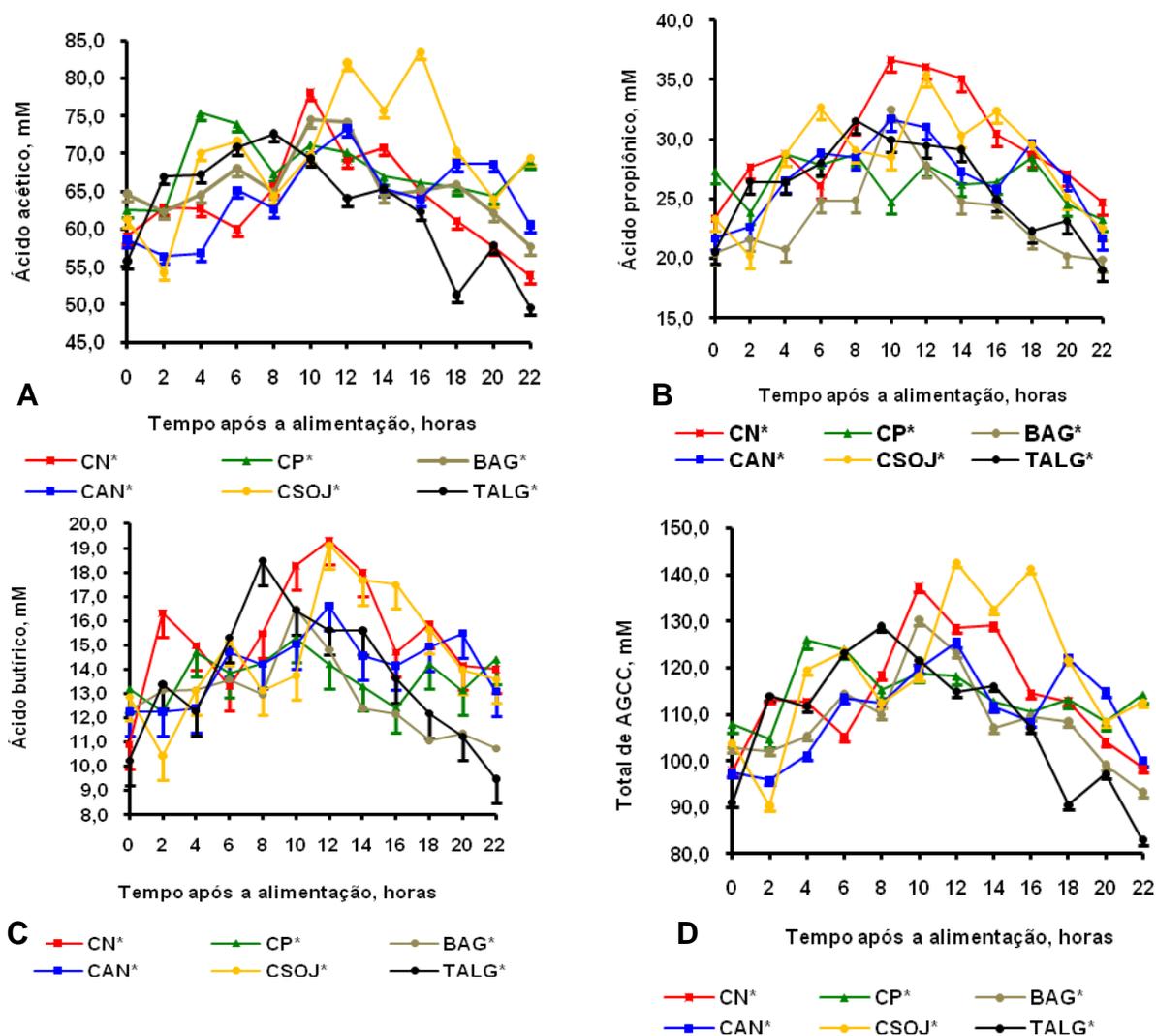


Figura 4.4 – Concentração molar ruminal de ácido acético (A), ácido propiônico (B), ácido butírico (C) e total de ácidos graxos de cadeia curta (AGCC) (D) em função do tempo pós alimentação de rações contendo diferentes fontes e teor de fibra. Dados oriundos de seis bovinos da raça Nelore providos de cânula no saco dorsal do rúmen

\*CN = Controle negativo (10% de FDN de silagem de milho - % MS); CP = Controle positivo (20% de FDN de silagem de milho - % MS); BAG = Bagaço de cana-de-açúcar *in natura* (10% de FDN de BAG e 10% de FDN de silagem de milho - % MS); CAN = Cana-de-açúcar *in natura* (10% de FDN de CAN e 10% de FDN de silagem de milho - % MS); CSOJ = Casca de soja (10% de FDN de CSOJ e 10% de FDN de silagem de milho - % MS); TALG = Torta de algodão desengordurada (10% de FDN de TALG e 10% de FDN de silagem de milho - % MS)

Na figura 4.4 estão representados graficamente os efeitos das concentrações molares das principais variáveis ruminais avaliadas (ácido acético, ácido propiônico, ácido butírico e total de ácidos graxos de cadeia curta) em função do tempo pós-alimentação do qual foi observada diferença ( $P < 0,05$ ) entre os tratamentos ( $P < 0,05$ ). Os horários representados no eixo das coordenadas dos gráficos indicam a hora do dia em que foram realizadas as coletas de fluido ruminal, lembrando que as rações experimentais eram fornecidas aos animais sempre às 08:00 horas. Não foram detectadas interações entre os tratamentos e os horários de coleta para os ácidos graxos de cadeia curta (AGCC) e para a concentração ruminal de nitrogênio amoniacal ( $N-NH_3$ ) (figuras 4.4 e 4.5).

As curvas de concentração ruminal dos ácidos acético, propiônico, butírico e AGCC apresentaram comportamento semelhante, com rápida elevação à partir da refeição matinal com pico de maior magnitude entre às 10 e 12 horas após a alimentação. Conforme demonstrado na figura 4.4, observado que para todas as variáveis avaliadas os tratamentos CN e CSOJ apresentaram os maiores picos de concentração ruminal.

Pereira (2009) ao revisar o papel do butirato na acidose em bovinos concluiu que a alta produção desse ácido parece ser indesejável, do ponto de vista da integridade, da proliferação e da diferenciação celular do epitélio ruminal. Nesse cenário, diante das afirmativas de Pereira (2009), mesmo não avaliando as condições do epitélio ruminal de cada bovino recebendo os tratamentos CN e CSOJ, pode-se especular que, tiveram o desenvolvimento e a integridade das papilas ruminais supostamente suprimidas diante da elevada concentração de ácido butírico produzido, ocasionando, juntamente com o baixo tempo de mastigação (tabela 2.5, capítulo 2), alterações na absorção e saída desses ácidos pela parede do epitélio ruminal, favorecendo a queda acentuada do pH ruminal.

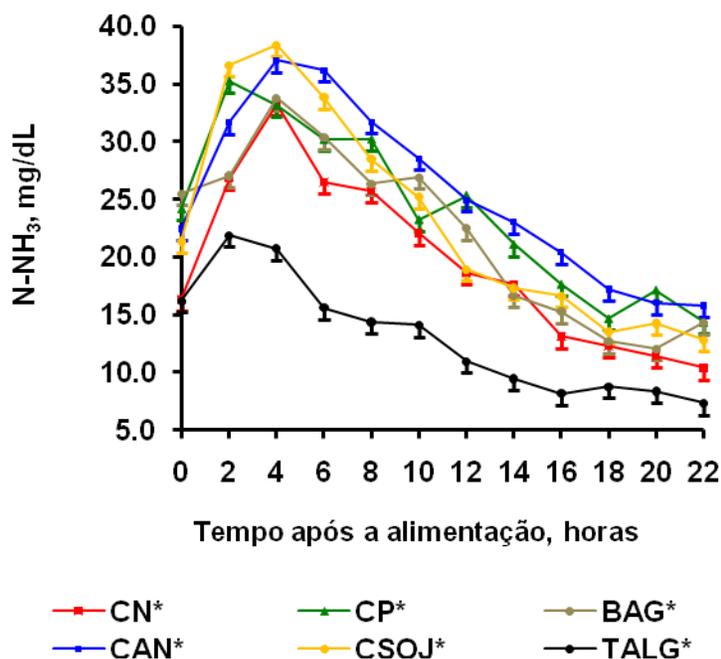


Figura 4.5 – Efeito da concentração ruminal de nitrogênio amoniacal (N-NH<sub>3</sub>) como função do tempo pós-alimentação de rações contendo diferentes fontes e teor de fibra. Dados provenientes de seis bovinos da raça Nelore contendo cânula no saco dorsal do rúmen

\*CN = Controle negativo (10% de FDN de silagem de milho - % MS); CP = Controle positivo (20% de FDN de silagem de milho - % MS); BAG = Bagaço de cana-de-açúcar *in natura* (10% de FDN de BAG e 10% de FDN de silagem de milho - % MS); CAN = Cana-de-açúcar *in natura* (10% de FDN de CAN e 10% de FDN de silagem de milho - % MS); CSOJ = Casca de soja (10% de FDN de CSOJ e 10% de FDN de silagem de milho - % MS); TALG = Torta de algodão desengordurada (10% de FDN de TALG e 10% de FDN de silagem de milho - % MS)

Ao avaliar o efeito da proporção ruminal de nitrogênio amoniacal como função do tempo pós-alimentação observou-se diferença ( $P < 0,05$ ) entre os tratamentos e entre os tempos ( $P < 0,05$ ) de coleta (figura 4.5). As curvas de concentração ruminal de nitrogênio amoniacal dos tratamentos apresentaram comportamento semelhante, com rápida elevação à partir da refeição matinal com pico de maior magnitude entre as 2 e 4 horas após a alimentação. Como mencionado anteriormente, a inclusão de torta de algodão desengordurada referente ao tratamento TALG, determinou a menor participação de uréia (0,85% na MS da RT) para atingir nível de 13% de proteína bruta na MS da RT (tabela 4.2). Assim, foi possível observar graficamente que o tratamento

TALG apresentou menor concentração de nitrogênio amoniacal ruminal duas horas após a alimentação, bem como, menor concentração durante as 24 horas de avaliação.

#### 4.3.3 Cinética de degradação *in situ* e cinética do trânsito digestivo

Rações contendo fontes e teores de fibra não alteraram o tempo médio de digestão da MS e da fração FDN ( $P>0,05$ ), como também, não provocaram alteração ( $P>0,05$ ) na fração potencialmente digestível da MS disponível para ser digerida pelos microrganismos ruminais (A) e da fração indigestível da MS (U) referente à MS avaliadas pelo ensaio de degradabilidade *in situ* (tabela 4.4 e 4.5). Por outro lado, diferenças ( $P<0,05$ ) na fração solúvel da matéria seca (S) foram observadas entre os tratamentos.

Em virtude da heterogeneidade de variância encontrada para a variável  $\lambda_a$ , que representa a taxa assintótica de preparação do substrato, e para a variável  $TMP_{subs}$ , correspondente ao tempo médio de preparação do substrato, tanto para a matéria seca, quanto para a fração FDN (tabelas 4.4 e 4.5), optou-se por apresentar somente os resultados pontuais, não havendo pertinência a análise sobre os dados. Provavelmente, esse comportamento ocorreu em virtude da relevante variação dos dados, como também do baixo número de tempos existentes na fase inicial do ensaio de degradabilidade o que dificultou a caracterização do padrão de degradação e a análise dos dados. Por outro lado, mesmo havendo não homogeneidade de variâncias para o  $\lambda_a$  e para o  $TMP_{subs}$ , este comportamento não impediu entretanto, a detecção de diferenças entre as taxas de degradação da fração A ( $k_d$ ) no ensaio de degradabilidade *in situ* da MS.

A substituição de 10% da fração FDN de silagem de milho por torta de algodão desengordurada (tratamento TALG) promoveu resultados semelhantes (5,10 e 6,05% por hora, respectivamente) quanto à taxa de degradação da MS. Todavia, rações contendo inclusão de cana-de-açúcar ou casca de soja (tratamentos CAN e CSOJ) apresentaram resultados inferiores (2,50 e 3,00% por hora) ( $P>0,05$ ) em comparação ao tratamento CP. Já o tratamento BAG foi o que apresentou menor valor de  $k_d$  da MS, com apenas 1,00% por hora.

Tabela 4.4 – Degradabilidade *in situ* da matéria seca de diferentes fontes e nível de fibra em rações destinadas a bovinos de corte

Variáveis <sup>2</sup>	Ração total <sup>1</sup>						EPM	P
	CN	CP	BAG	CAN	CSOJ	TALG		
TMD, h	27,42	31,95	29,74	33,24	33,27	41,04	4,580	0,8997
A, %	27,1	36,0	39,0	17,0	50,0	35,3	0,034	0,0620
U, %	37,6	30,5	51,0	28,0	31,4	26,5	0,031	0,1806
S, %	35,32 <sup>b</sup>	33,61 <sup>b</sup>	10,50 <sup>d</sup>	55,14 <sup>a</sup>	20,00 <sup>c</sup>	38,16 <sup>b</sup>	0,005	<,0001
$\lambda_a$ , h <sup>-1</sup>	684,00	650,37	1,01	0,24	313,56	1272,59	57,50	----
TMP <sub>subs</sub> , h	2,565	0,002	16,471	14,447	5,121	0,206	2,065	----
k <sub>d</sub> , %·h <sup>-1</sup>	5,10 <sup>a</sup>	6,40 <sup>a</sup>	1,00 <sup>c</sup>	2,50 <sup>b</sup>	3,00 <sup>b</sup>	6,05 <sup>a</sup>	0,740	<,0001
DE MS (%)	50,88 <sup>b</sup>	56,40 <sup>b</sup>	22,46 <sup>c</sup>	68,20 <sup>a</sup>	50,00 <sup>b</sup>	54,71 <sup>b</sup>	0,010	<,0001

<sup>1</sup>CN = Controle negativo (10% de FDN de silagem de milho - % MS); CP = Controle positivo (20% de FDN de silagem de milho - % MS); BAG = Bagaço de cana-de-açúcar *in natura* (10% de FDN de BAG e 10% de FDN de silagem de milho - % MS); CAN = Cana-de-açúcar *in natura* (10% de FDN de CAN e 10% de FDN de silagem de milho - % MS); CSOJ = Casca de soja (10% de FDN de CSOJ e 10% de FDN de silagem de milho - % MS); TALG = Torta de algodão desengordurada (10% de FDN de TALG e 10% de FDN de silagem de milho - % MS)

<sup>2</sup>TMD = Tempo médio de digestão em horas; A = fração potencialmente digestível da matéria seca disponível para ser digerida pelos microrganismos ruminais; U = fração indigestível da matéria seca;  $\lambda_a$  = taxa assintótica de preparação do substrato; TMP<sub>subs</sub> = Tempo médio de preparação do substrato; k<sub>d</sub> = taxa de degradação da fração A; S = fração solúvel (100-A-U); DE MS = degradabilidade efetiva da matéria seca

<sup>ab</sup> Letras distintas na mesma linha indicam diferença estatística pelo LSMeans ao nível de 5%.

Como apresentado na tabela 4.4, a cana-de-açúcar apresentou maior proporção da fração solúvel (55,14%) (P<0,05) quando comparada com os demais tratamentos avaliados, provavelmente em virtude da elevada concentração de carboidratos solúveis, representada principalmente por sacarose.

Em conformidade com os resultados encontrados no presente trabalho, Ezequiel et al. (2001) relataram valores semelhantes para a cana-de-açúcar de 55,1% para a fração representada pelos açúcares solúveis e rapidamente fermentáveis no rúmen (fração S calculada no presente trabalho).

Tabela 4.5 – Degradabilidade *in situ* da fração da fibra detergente neutro de fontes e nível de fibra em rações destinadas a bovinos de corte

Variáveis <sup>2</sup>	Ração total <sup>1</sup>						EPM	P
	CN	CP	BAG	CAN	CSOJ	TALG		
TMD, h	76,25	63,50	44,05	35,36	41,40	41,67	7,881	0,2109
An, %	61,30 <sup>a</sup>	64,10 <sup>a</sup>	22,31 <sup>b</sup>	37,24 <sup>b</sup>	60,00 <sup>a</sup>	54,00 <sup>a</sup>	0,026	0,0035
Un, %	38,73 <sup>b</sup>	41,50 <sup>b</sup>	78,45 <sup>a</sup>	62,76 <sup>a</sup>	39,45 <sup>b</sup>	46,10 <sup>b</sup>	0,034	0,0008
$\lambda_a$ , h <sup>-1</sup>	0,1817	196,20	0,205	0,388	293,99	779,78	80,560	----
TMP <sub>subs</sub> , h	20,344	8,643	10,655	17,917	5,930	0,002	5,011	----
k <sub>d</sub> , %·h <sup>-1</sup>	3,52	3,63	8,61	9,74	6,04	3,34	0,027	0,3850
DE FDN (%)	21,62 <sup>ab</sup>	30,62 <sup>a</sup>	15,21 <sup>b</sup>	29,68 <sup>a</sup>	30,61 <sup>a</sup>	27,95 <sup>ab</sup>	0,020	0,0156

<sup>1</sup>CN = Controle negativo (10% de FDN de silagem de milho - % MS); CP = Controle positivo (20% de FDN de silagem de milho - % MS); BAG = Bagaço de cana-de-açúcar *in natura* (10% de FDN de BAG e 10% de FDN de silagem de milho - % MS); CAN = Cana-de-açúcar *in natura* (10% de FDN de CAN e 10% de FDN de silagem de milho - % MS); CSOJ = Casca de soja (10% de FDN de CSOJ e 10% de FDN de silagem de milho - % MS); TALG = Torta de algodão desengordurada (10% de FDN de TALG e 10% de FDN de silagem de milho - % MS)

<sup>2</sup>TMD = Tempo médio de digestão em horas; An = fração potencialmente digestível da fração fibra detergente neutro disponível para ser digerido pelos microrganismos ruminais; Un = fração indigestível da fração fibra detergente neutro;  $\lambda_a$  = taxa assintótica de preparação do substrato; TMP<sub>subs</sub> = Tempo médio de preparação do substrato (n/λ); k<sub>d</sub> = taxa de degradação da fração A; DE MS = degradabilidade efetiva da fração fibra detergente neutro

<sup>ab</sup> Letras distintas na mesma linha indicam diferença estatística pelo LSMeans ao nível de 5%.

Valores semelhantes (P>0,05) para a fração solúvel (S) foram observados entre os tratamentos CN, CP e TALG (35,32%, 33,61% e 38,16%, respectivamente). Entretanto, menores valores foram observados para o tratamento BAG (10,50%), diferindo (P<0,05), entretanto, do tratamento CSOJ (20,00%), conforme apresentado na tabela 4.4.

Diferenças foram observadas (P<0,05) na degradabilidade efetiva da MS e da fração FDN nos diferentes tratamentos avaliados (tabelas 4.4 e 4.5).

O tratamento contendo 10% da fração FDN de cana-de-açúcar apresentou maior degradabilidade efetiva da MS (68,20%), diferindo (P<0,05) do tratamento BAG apresentando o menor valor (22,46%). Em contrapartida, os tratamentos CN, CP, CSOJ e TALG apresentaram resultados intermediários para a degradabilidade efetiva da MS

(tabela 4.4). Em virtude da maior proporção de concentrado no tratamento CN e, conseqüentemente, menor valor de pH ruminal, é possível que a degradabilidade efetiva deste tratamento tenha sido comprometida em comparação aos demais tratamentos avaliados.

Rações contendo silagem de milho como única fonte de forragem (tratamentos CN e CP) ou rações contendo a substituição de 10% da fração FDN de silagem de milho por FFNF (tratamentos CSOJ ou TALG) apresentaram maiores proporções da fração FDN potencialmente digestível (An) (61,30, 64,10, 60,00 e 54,00%, respectivamente) quando comparado com o tratamento BAG (22,31%). Por outro lado, a inclusão de 10% da fração FDN de cana-de-açúcar apresentou resultado intermediário (37,24%).

A fração indigestível (Un) pertencente à fração FDN apresentou comportamento inverso ao observado para a degradação da fração An (tabela 4.5). Importante lembrar que para a análise da fração FDN dos alimentos avaliados, foram realizadas correções no intuito de evitar erros referentes às perdas de partículas decorrentes das limitações impostas pela técnica *in situ*, sendo as frações An e Un denominadas de A normalizado ( $A/(A + U)$ ) e U normalizado ( $U/(A + U)$ ) podendo dessa forma, aumentar a precisão dos resultados (VIEIRA, TEDESCHI, CANNAS, 2008ab).

A incubação de silagem de milho, cana-de-açúcar e casca de soja no rúmen de bovinos alimentados com seus respectivos tratamentos (tratamentos CP, CAN e CSOJ) apresentou resultados semelhantes ( $P > 0,05$ ) quanto à degradabilidade efetiva da fração FDN, com média de 30,30% (tabela 4.5). Por outro lado, pelo fato do bagaço *in natura* de cana-de-açúcar possuir elevado valor da fração indigestível (Un) da fração FDN (78,45%), foi possível confirmar a baixa degradabilidade efetiva da fração FDN deste mesmo ingrediente (15,21%), mesmo tendo apresentado elevado TMRR<sub>P</sub> (67,1 horas) (tabela 4.6). Em contrapartida, em decorrência da elevada proporção da fração potencialmente digestível da fração FDN nos tratamentos CP e CSOJ, observou-se elevados valores quanto à degradabilidade efetiva da fibra para estes ingrediente (30,62 e 30,61%, respectivamente).

Ao avaliar a cana-de-açúcar pertencente ao tratamento CAN, este alimento apresentou valor intermediário da fração potencialmente digestível da fibra (37,24%) em

comparação aos demais tratamentos (tabela 4.5). Entretanto, elevada degradabilidade efetiva da fração FDN deste alimento foi observada. Esta possível compensação encontrada para a degradabilidade efetiva da fibra da cana-de-açúcar pode ser justificada pelo elevado  $TMRR_p$ , (42,5 horas), conforme se depreende da tabela 4.6.

É importante observar que a degradabilidade efetiva da fibra de silagem de milho incubada no rúmen de bovinos alimentados com o tratamento CN apresentou valor intermediário (21,62%) quando comparado com os demais tratamentos. Provavelmente, esse comportamento pode ser explicado como consequência do desfavorável ambiente ruminal (baixo pH) de bovinos alimentados com o tratamento CN, suprimindo a degradabilidade efetiva da fibra de silagem de milho incubada neste tratamento. Também, outra forte justificativa foi a elevada taxa de partículas escapáveis no rúmen retículo ( $k_e$ ) (5,00%/hora) (tabela 4.6).

Como observado na tabela 4.5, não se observou diferença ( $P>0,05$ ) na taxa de degradação da fração FDN entre as rações contendo fontes e nível de fibra.

Segundo Ørskov e McDONALD (1979), avaliações envolvendo a degradabilidade de alimentos no rúmen sem considerar a taxa de passagem de partículas podem apresentar resultados imprecisos quanto à extensão da degradação destes, já que as partículas dos ingredientes estão sujeitas à passagem para o compartimento seguinte antes de serem completamente degradadas. Dessa forma, resultados semelhantes à taxa de degradação da fração FDN no presente trabalho, podem ser consequência de diferenças nas taxas de passagem do pool de partículas escapáveis no rúmen retículo ( $k_e$ ) encontrados entre os tratamentos avaliados (tabela 4.6).

Tabela 4.6 – Valores médios das estimativas dos parâmetros da taxa de passagem de sólidos, marcados com acetato de itérbio, de fontes e nível de fibra em rações destinadas a bovinos de corte

Variáveis <sup>2</sup>	Ração total <sup>1</sup>						EPM	P
	CN	CP	BAG	CAN	CSOJ	TALG		
$\lambda_p, h^{-1}$	0,05	1,68	0,19	0,15	0,85	0,56	0,20	0,114
$k_e, \%.h^{-1}$	5,00 <sup>a</sup>	3,00 <sup>bc</sup>	2,00 <sup>c</sup>	4,10 <sup>abc</sup>	4,20 <sup>ab</sup>	5,70 <sup>a</sup>	0,003	0,0003
TT <sub>p</sub> , h	11,07	8,78	10,55	13,31	12,83	9,90	1,723	0,775
TMRR <sub>p</sub> , h <sup>*</sup>	37,0 <sup>a</sup>	45,2 <sup>b</sup>	67,1 <sup>bc</sup>	42,5 <sup>bcd</sup>	28,9 <sup>cd</sup>	28,1 <sup>d</sup>	2,5	<,0001
TMRT <sub>p</sub> , h <sup>+</sup>	48,0 <sup>bcd</sup>	54,0 <sup>b</sup>	77,7 <sup>a</sup>	55,8 <sup>bc</sup>	41,5 <sup>cd</sup>	38,0 <sup>d</sup>	3,4	<,0001

<sup>1</sup>CN = Controle negativo (10% de FDN de silagem de milho - % MS); CP = Controle positivo (20% de FDN de silagem de milho - % MS); BAG = Bagaço de cana-de-açúcar *in natura* (10% de FDN de BAG e 10% de FDN de silagem de milho - % MS); CAN = Cana-de-açúcar *in natura* (10% de FDN de CAN e 10% de FDN de silagem de milho - % MS); CSOJ = Casca de soja (10% de FDN de CSOJ e 10% de FDN de silagem de milho - % MS); TALG = Torta de algodão desengordurada (10% de FDN de TALG e 10% de FDN de silagem de milho - % MS)

<sup>2</sup> $\lambda_p$  = Taxa assintótica de escape das partículas do *raft* para o total de partículas escapáveis;  $k_e$  = taxa de passagem no rúmen retículo com probabilidade de escape de partículas exponencialmente distribuída; TT = tempo de trânsito; TMRR<sub>p</sub> = tempo médio de retenção no rúmen retículo de partículas; TMRT<sub>p</sub> = tempo médio de retenção total de partículas

\* A comparação da variável ajustada para TMRR<sub>p</sub> foi calculada conforme modelo não linear como:  $Y_{aj} = \log(\text{TMRR}/\text{Massa corporal})^{0,5780}$

+ A comparação da variável ajustada para TMRT<sub>p</sub> foi calculada conforme modelo não linear:  $Y_{aj} = \log(\text{TMRT}/\text{Massa corporal})^{0,3343}$

<sup>ab</sup> Letras distintas na mesma linha indicam diferença estatística pelo LSMeans ao nível de 5%.

O teor e fontes de fibra alteraram ( $P < 0,05$ ) a taxa de passagem do pool de partículas escapáveis ou elegíveis para escape ( $k_e$ ), marcados com acetato de itérbio, bem como no TMRR<sub>p</sub> e no TMRT<sub>p</sub> (tabela 4.6). Por outro lado, a taxa de transferência das partículas do *raft* para o total de partículas escapáveis ( $\lambda_p, h^{-1}$ ) apresentou comportamento semelhante ( $P > 0,05$ ) entre os tratamentos avaliados com valores variando entre 0,05 a 1,68 hora. Também, não se observou diferença ( $P > 0,05$ ) no tempo de trânsito de partículas (TT<sub>p</sub>) entre os tratamentos estudados com média de 11,07 horas.

Maiores taxas de passagem da fase sólida foram observadas nos tratamentos CN e TALG (5,00 e 5,7%/h, respectivamente), seguido pelos tratamentos CSOJ (4,20%/h), CAN (4,10 %/h), CP (3,00 %/h) e BAG (2,00 %/h).

Mesmo havendo redução no CMS no tratamento BAG em 24,24% quando comparado com o tratamento CP, rações contendo a inclusão de bagaço *in natura* de cana-de-açúcar apresentaram valores semelhantes na taxa de passagem da fase líquida (2,00%/hora) quando comparado com o tratamento CP (3,00%/hora).

Kreikemeier et al. (1990) avaliaram o desempenho e o metabolismo de novilhos cruzados recebendo rações contendo 18% da fração FDN em proporções iguais de silagem de milho e feno de alfafa e encontraram valores para a taxa de passagem de sólidos de 4,3 e 5,6%/h para rações ofertadas em 2 ou 3 vezes as exigências de energia líquida de manutenção, sendo estes valores superiores aos encontrados no presente trabalho.

Vale ressaltar que a comparação das médias das variáveis  $TMRR_p$  e  $TMRT_p$  (referente a fase sólida) foram realizadas utilizando modelo não linear e escalonado para massa corporal dos animais experimentais ( $Y_{aj} = \log(TMRR/Massa\ corporal^{0,5780})$  e  $Y_{aj} = \log(TMRT/Massa\ corporal^{0,3343})$ , respectivamente), visto que mesmo trabalhando com animais homogêneos (peso vivo médio de  $408 \pm 12$  kg) foi possível com este modelo eliminar o efeito da massa corporal dos bovinos utilizados no presente experimento para estas variáveis, no intuito de aumentar a precisão da comparação das médias. Com isso, foram aplicadas as comparações das médias sobre os valores escalonados e relatadas sobre as médias (não escalonadas) de cada tratamento.

Rações contendo inclusão de 10% da fração FDN de co-produtos (CSOJ ou TALG) apresentaram menor  $TMRR_p$  (28,9 e 28,1 horas) ( $P < 0,05$ ) em comparação ao tratamento CP contendo 20% da fração FDN de silagem de milho (45,2 horas). Em contrapartida, a substituição de silagem de milho por bagaço *in natura* de cana-de-açúcar (na proporção de 10% da fração FDN, tratamento BAG) elevou o  $TMRR_p$  em 21,87 horas quando comparado com o tratamento CP. Já ao substituir a mesma proporção da fração FDN de silagem de milho por FDN de cana-de-açúcar (tratamento CAN), não se observou diferença ( $P > 0,05$ ) no  $TMRR_p$  entre este tratamento e o tratamento CP.

Ainda na tabela 4.6, menor inclusão de silagem de milho referente ao tratamento CN possibilitou menor  $TMRR_p$  (37,0 horas) em comparação ao tratamento CP (45,2).

Teor e fonte de fibra alteraram ( $P < 0,05$ ) o  $TMRT_p$  (soma do  $TT_p$  e do  $TMRR_p$ ).

Tabela 4.7 – Valores médios das estimativas dos parâmetros da taxa de passagem de líquidos, utilizando cromo-EDTA, de fontes e nível de fibra em rações destinadas a bovinos de corte

Variáveis <sup>2</sup>	Ração total <sup>1</sup>						EPM	P
	CN	CP	BAG	CAN	CSOJ	TALG		
$\lambda_L$ , h <sup>-1</sup>	0,096	0,102	0,106	0,101	0,109	0,135	0,004	0,108
$\bar{k}_L$ , %/h	4,61	5,00	4,30	4,30	5,00	6,00	1,117	(-----)
TT <sub>L</sub> , h	8,55	7,50	10,37	7,33	9,11	9,50	1,300	0,741
TMRR <sub>L</sub> , h*	21,6	20,0	23,0	23,0	20,0	17,0	1,12	0,105
TMRT <sub>L</sub> , h <sup>+</sup>	30,1	27,1	33,4	30,3	29,1	26,3	1,80	0,316

<sup>1</sup>CN = Controle negativo (10% de FDN de silagem de milho - % MS); CP = Controle positivo (20% de FDN de silagem de milho - % MS); BAG = Bagaço de cana-de-açúcar *in natura* (10% de FDN de BAG e 10% de FDN de silagem de milho - % MS); CAN = Cana-de-açúcar *in natura* (10% de FDN de CAN e 10% de FDN de silagem de milho - % MS); CSOJ = Casca de soja (10% de FDN de CSOJ e 10% de FDN de silagem de milho - % MS); TALG = Torta de algodão desengordurada (10% de FDN de TALG e 10% de FDN de silagem de milho - % MS)

<sup>2</sup> $\lambda_L$  = Taxa assintótica de escape de líquidos do rúmen-retículo;  $\bar{k}_L$  = taxa de passagem média de fluidos; TT = tempo de trânsito; TMRR<sub>L</sub> = tempo médio de retenção ruminal da fase líquida; TMRT<sub>L</sub> = tempo médio de retenção total da fase líquida

<sup>ab</sup> Letras distintas na mesma linha indicam diferença estatística pelo LSMeans ao nível de 5%.

\*A comparação da variável ajustada para TMRR<sub>p</sub> foi calculada conforme modelo não linear como:  $Y_{aj} = \log(\text{TMRR}/\text{Massa corporal}^{0,5780})$

<sup>+</sup>A comparação da variável ajustada para TMRT<sub>p</sub> foi calculada conforme modelo não linear:  $Y_{aj} = \log(\text{TMRT}/\text{Massa corporal}^{0,3343})$

<sup>ab</sup> Letras distintas na mesma linha indicam diferença estatística pelo LSMeans ao nível de 5%.

Não houve diferença ( $P > 0,05$ ) na taxa assintótica de líquidos ( $\lambda_L$ , h<sup>-1</sup>) e no tempo de trânsito da fase líquida (TT<sub>L</sub>, h) entre os tratamentos avaliados (média de 0,11 h<sup>-1</sup> e 8,73 horas, respectivamente) (tabela 4.7). Igual comportamento foi observado após a comparação das médias das variáveis TMRR<sub>L</sub> e TMRT<sub>L</sub> (referente à fase líquida) utilizando modelo não linear e escalonado para massa corporal dos animais experimentais (conforme apresentado na tabela 4.7), com médias de 20,77 e 29,38 horas para TMRR<sub>L</sub> e TMRT<sub>L</sub>, respectivamente. Sabendo-se que o valor de  $\bar{k}_L$  (taxa de passagem média de fluidos) é a recíproca do TMRR<sub>L</sub> os resultados estatísticos são análogos, não havendo necessidade de realizar a comparação das médias para a variável  $\bar{k}_L$ .

Ao avaliar o trabalho reportado por Kreikemeier et al. (1990), valor semelhante ao encontrado no presente trabalho quanto ao valor de  $k_e$  foi também demonstrado por tais autores, que relataram taxa de passagem de fluidos de 6,3%/h em rações contendo 18% da fração FDN em proporções similares de inclusão de silagem de milho e feno de alfafa.

O volume ruminal é constituído primariamente de líquidos, razão pela qual o conteúdo ruminal apresenta tipicamente menos de 15% da matéria seca (OWENS e GOETSCH, 1988). No presente estudo, como observado no capítulo 2, tabela 2.10, encontrou-se teor médio de 18,25% de MS (mínimo de 15,28 e máximo de 21,37%) ao avaliar o conteúdo ruminal de bovinos de corte recebendo rações contendo diferentes fontes e nível de fibra, sendo esses valores semelhantes aos mencionados por Owens e Goetsch, (1988).

Dados sumarizados por Owens e Goetsch (1988) demonstraram que a taxa de passagem de líquidos em bovinos alimentados com rações contendo entre 25% a 50% de forragem na MS da RT estaria em torno de 6,52 a 7,28%/hora, valores levemente superiores (4,86%/hora) aos encontrados no presente trabalho, contendo inclusão que varia entre 20 e 40% de fonte de fibra na MS da RT.

Sabe-se que o líquido ruminal é originado de trocas entre o meio ruminal e os fluidos do hospedeiro, bem como do consumo de água. Entretanto, expressiva quantidade do líquido ruminal é originada da saliva, produzida durante o consumo do alimento e a ruminação realizada pelo animal.

KAUFMANN et al. (1980) avaliando dados da literatura estimaram a correlação entre a relação da produção de saliva e a proporção de concentrado:volumoso em rações de bovinos. Estes autores relataram que produção de saliva/kg de matéria seca diminuiu à medida que o teor de forragem diminuiu, sendo este comportamento influenciado principalmente pela diminuição do tempo de mastigação (somatória entre ingestão e ruminação). Dessa forma, estes autores ainda mencionam que ao reduzir o fluxo de saliva à medida que o teor de forragem na ração diminui, contribui-se para diminuir a velocidade de passagem de líquidos.

Ao avaliar os dados de comportamento ingestivo reportados no capítulo 2, tabela 2.5 do presente trabalho constatou-se diferença ( $P>0,05$ ) entre os tratamentos quanto

ao tempo de mastigação em minutos por quilo de MS. Rações contendo teores da fração FDN entre 10 e 20% na RT (tratamentos CN, CP, BAG, CAN, CSOJ e TALG) apresentaram valores bastante divergentes quanto ao tempo de mastigação em minutos por quilo de MS, com média de 69,68 (mínimo de 48,4 e máxima 96,6). Entretanto, mesmo apresentando elevada variação no tempo de mastigação entre os tratamentos, não se observou diferença ( $P>0,05$ ) na taxa de passagem média de fluidos, no  $TMRR_L$  e no  $TMRT_L$ , o que contraria a suposição mencionada por KAUFMANN et al. (1980).

Partículas de alimentos parcialmente digeridas podem deixar o ambiente ruminal por meio da passagem da fração líquida. A extensão da degradação de determinado alimento na digesta ruminal é determinada pela degradabilidade potencial do mesmo, sendo influenciada pelo tamanho das partículas e pelo tempo que estas partículas permanecerão retidas no rúmen (FAICHNEY, 1984). No entanto, estas partículas deixam o rúmen à taxas de passagem menores se comparadas àquelas da fase líquida.

Owens e Goetsch (1988) mencionaram que a taxa de passagem das partículas de forragem pode variar de 1 a 6%/hora, em que o nível de consumo do animal, a gravidade específica e o tamanho das partículas dos alimentos no rúmen são importantes fatores determinantes dessa taxa.

Ao recordar os valores referentes à taxa de partículas escapáveis do rúmen-retículo ( $k_e$ ) já mencionados (tabela 4.6), é possível compreender que estes estão em concordância com a taxa média de passagem de partículas de forragem sugeridas por Owens e Goetsch (1988). Tratamentos como o CN, a CSOJ e a TALG apresentaram menores TMP na ração total (6,31, 7,71 e 9,83 mm, respectivamente) quando comparado com os demais tratamentos avaliados (tabela 2.9, capítulo 2) e conseqüentemente, apresentaram também, maiores valores de  $k_e$  (tabela 4.6).

#### **4.3.4 Digestibilidade dos nutrientes**

A ração contendo apenas 10% de FDN de silagem de milho (tratamento CN) apresentou maior valor de digestibilidade aparente da matéria seca na RT ( $P<0,05$ ),

quando comparada aos demais tratamentos avaliados. Como observado na tabela 4.8, o coeficiente de digestibilidade aparente da MS referente ao tratamento CN foi 6,84 unidades percentuais superior em comparação a média dos demais tratamentos experimentais (77,10 e 70,26%, respectivamente).

Tabela 4.8 – Digestibilidade aparente dos nutrientes de rações contendo fontes e nível de fibra

Variáveis	Ração total <sup>1</sup>						
	CN	CP	BAG	CAN	CSOJ	TALG	EP
<b>Digestibilidade aparente do trato total, %</b>							
MS	77,10 <sup>a</sup>	68,71 <sup>b</sup>	69,63 <sup>b</sup>	70,22 <sup>b</sup>	71,95 <sup>b</sup>	70,80 <sup>b</sup>	1,85
PB	74,43 <sup>a</sup>	68,35 <sup>a</sup>	58,20 <sup>b</sup>	58,46 <sup>b</sup>	71,00 <sup>a</sup>	68,85 <sup>a</sup>	1,93
FDN	60,30 <sup>bc</sup>	66,31 <sup>a</sup>	53,86 <sup>bc</sup>	52,35 <sup>bc</sup>	61,75 <sup>ab</sup>	50,50 <sup>c</sup>	2,51
FDA	47,42 <sup>abc</sup>	52,63 <sup>ab</sup>	45,40 <sup>bc</sup>	45,81 <sup>bc</sup>	54,80 <sup>a</sup>	43,65 <sup>c</sup>	2,35
CEL	49,21 <sup>a</sup>	56,04 <sup>a</sup>	49,87 <sup>a</sup>	49,97 <sup>a</sup>	56,32 <sup>a</sup>	48,60 <sup>a</sup>	2,60
HEM	66,98 <sup>ab</sup>	82,92 <sup>a</sup>	68,77 <sup>ab</sup>	57,50 <sup>b</sup>	70,02 <sup>ab</sup>	59,07 <sup>b</sup>	4,46
MO	77,24	79,04	70,97	71,58	73,05	72,17	1,89

<sup>1</sup>CN = Controle negativo (10% de FDN de silagem de milho - % MS); CP = Controle positivo (20% de FDN de silagem de milho - % MS); BAG = Bagaço de cana-de-açúcar *in natura* (10% de FDN de BAG e 10% de FDN de silagem de milho - % MS); CAN = Cana-de-açúcar *in natura* (10% de FDN de CAN e 10% de FDN de silagem de milho - % MS); CSOJ = Casca de soja (10% de FDN de CSOJ e 10% de FDN de silagem de milho - % MS); TALG = Torta de algodão desengordurada (10% de FDN de TALG e 10% de FDN de silagem de milho - % MS)

<sup>ab</sup> Letras distintas na mesma linha indicam diferença estatística pelo LSMeans ao nível de 5%.

É importante observar que em virtude do tratamento BAG ter apresentado o menor CMS (figura 4.2) e maiores tempos médios de retenção ruminal (TMRR) e de retenção total (TMRT) tanto da fase sólida quanto da fase líquida (tabelas 4,6 e 4,7), era de se esperar maior coeficiente de digestibilidade aparente da MS deste tratamento em comparação aos demais tratamentos avaliados (salvo exceção ao tratamento CN), o que, entretanto, não ocorreu ( $P > 0,05$ ). Tal comportamento pode ser justificado, pelos menores valores da degradabilidade efetiva da MS (22,46 %) e da fração FDN (15,21 %) do bagaço *in natura* da cana-de-açúcar apresentados nas tabelas 4.4 e 4.5. Também, mesmo apresentando maior  $TMRR_p$  e  $TMRT_p$  de partículas para bovinos alimentados com o tratamento BAG (tabela 4.6), o elevado teor de lignina e fração FDA

do bagaço *in natura* de cana-de-açúcar (tabela 4.1) impediu aumento no coeficiente de digestibilidade aparente tanto da MS, quanto da fração FDN e fibra detergente ácida (FDA) do referido ingrediente (tabela 4.8).

A substituição de 10% da fração FDN de silagem de milho por 10% da fração FDN de bagaço *in natura* de cana-de-açúcar ou cana-de-açúcar (tratamentos BAG e CAN) promoveu menores coeficientes de digestibilidade aparente da proteína bruta ( $P < 0,05$ ) em comparação aos tratamentos CN, CP, CSOJ e TALG.

As frações constituintes da parede celular, FDN e FDA, tiveram seus coeficientes de digestibilidade aparente influenciados significativamente ( $P < 0,05$ ) pelas fontes e teor de fibra (tabela 4.8). Rações contendo inclusão de 10% de FDN de torta de algodão desengordurada, em substituição a silagem de milho, tiveram os menores valores de digestibilidade, para ambas as frações avaliadas (FDN e FDA). Por sua vez, tratamento CP apresentou maior digestibilidade aparente da fração FDN e tratamento CSOJ apresentou maior coeficiente de digestibilidade da fração FDA. Os demais tratamentos (BAG, CAN) apresentaram valores intermediários quanto à digestibilidade aparente da fração FDN e fração FDA na RT ( $P < 0,05$ ).

Não houve diferença ( $P > 0,05$ ) na digestibilidade aparente da celulose e da matéria orgânica entre os tratamentos avaliados. Entretanto, maior digestibilidade aparente da hemicelulose foi observada em rações contendo 20% de FDN de silagem de milho (tratamento CP) e menores valores foram encontrados para os tratamentos CAN e TALG.

Mesmo apresentando CMS semelhante entre os tratamentos CAN e CSOJ, observou-se menor coeficiente de digestibilidade aparente da fração FDA para rações contendo inclusão de cana-de-açúcar em relação a rações contendo casca de soja (figura 4.2). Esse comportamento pode ser explicado em virtude da maior concentração das frações FDA e lignina contidas na cana-de-açúcar (tabela 4.1) uma vez que de acordo com JUNG e ALLEN (1995) a lignina figura entre os componentes constitutivos responsáveis por limitar a digestão da parede celular no rúmen.

Em concordância com os resultados apresentados no presente trabalho quanto à digestibilidade da fração FDN da cana-de-açúcar e da silagem de milho (tratamentos CAN e CP, respectivamente), ANDRADE e PEREIRA (1999), ao trabalharem com

novilhas Holandesas, observaram que apesar da digestibilidade da fração FDN da cana-de-açúcar ter apresentado menores valores em relação à digestibilidade da fração FDN da silagem de milho, estes autores não observaram diferença ( $P > 0,05$ ) entre a digestibilidade da matéria orgânica dessas forrageiras. Tais autores justificaram que provavelmente a maior digestibilidade da matéria orgânica não fibrosa da cana-de-açúcar, representada principalmente por sacarose, compensou a menor digestibilidade da fibra. Entretanto, a DE FDN (tabela 4.4) revela valores similares para as rações CAN e CP, sugerindo não haver diferenças importantes entre os tratamentos para a digestão dos componentes fibrosos da parede celular.

De acordo com GRANT e MERTENS (1992), o ambiente ruminal é afetado pela composição da ração. Rações que não estimulam adequadamente a mastigação reduzem a produção de saliva, resultando em pH ruminal mais baixo, podendo em última análise comprometer a digestibilidade da fibra. Tal afirmativa foi observada no presente trabalho quanto ao valor de digestibilidade aparente da fração FDN do tratamento CN.

Ração contendo apenas 10% da fração FDN de silagem de milho na RT (tratamento CN) apresentou menor digestibilidade da fibra (60,30%,  $P < 0,05$ ) quando comparado com o tratamento CP (66,31%) contendo o dobro (20%) da fração FDN de silagem de milho na RT. O menor pH ruminal observado no tratamento CN (tabela 4.3) sugere ser o grande responsável pela diminuição da digestibilidade da fibra neste tratamento. Nesse cenário, a menor degradabilidade efetiva da fração FDN ( $P < 0,05$ ) da silagem de milho pertencente ao tratamento CN (21,62 %) em comparação ao tratamento CP (30,62 %) (tabela 4.5), justifica novamente a influência do pH ruminal na utilização da fibra pelos microrganismos ruminais. El-Shazly; Dehority; Johnson (1961) evidenciaram que as principais causas do efeito associativo negativo na digestão da fibra em rações contendo alta proporção de concentrados ocorrem em consequência do baixo valor de pH ruminal. Esse comportamento ocorre devido à grande produção de ácidos graxos de cadeia curta (AGCC) provenientes principalmente da fermentação do amido e da predominância de microrganismos digestores desse carboidrato no ambiente ruminal. Como observado no presente trabalho, o baixo valor médio do pH

ruminal referente ao tratamento CN (5,92), estaria atuando como um dos fatores responsáveis pela queda da digestão da fibra.

A substituição de 10% da fração FDN de silagem de milho por casca de soja ou torta de algodão desengordurada (tratamentos CSOJ e TALG) promoveu maior taxa de passagem de partículas escapáveis no rúmen-retículo ( $k_e = 4,20$  e  $5,70\%$  por hora, respectivamente) ( $P < 0,05$ ) em comparação ao tratamento CN contendo 20% da fração FDN de silagem de milho na RT ( $k_e = 3,0\%$  por hora) (tabela 4.6). Como reflexo dos maiores valores de  $k_e$  para FFNF (casca de soja e torta de algodão desengordurada), menores coeficientes de digestibilidade aparente da fração FDN ( $P < 0,05$ ) foram observados para estes alimentos quando comparados com o tratamento CP contendo apenas silagem de milho na RT. Com a substituição de 10% da fração FDN de silagem de milho por casca de soja ou torta de algodão desengordurada observou-se aumento no valor de  $k_e$  em 1,2 e 2,7 unidades percentuais por hora, respectivamente em comparação ao tratamento CP.

Como resultado do maior valor de  $k_e$  para rações contendo inclusão de FFNF, observou-se menor  $TMRR_p$  para casca de soja (28,9 horas) ou torta de algodão desengordurada (28,1 horas) ( $P < 0,05$ ) em comparação ao tratamento CP (45,2 horas). Também, menor  $TMRT_p$  foi observado para rações contendo FFNF (CSOJ e TALG) (41,5 e 38,0 horas, respectivamente) em comparação a ração contendo 20% da fração FDN de silagem de milho na RT (54,0 horas) (tabela 4.6), justificando os menores coeficientes de digestibilidade aparente da fração FDN de rações contendo co-produtos.

Grant (1997) afirmou que os dois fatores primários resultantes da substituição de FFF por FFNF em rações para bovinos são: a alteração da taxa de passagem da fase sólida e a alteração da taxa de digestão da fração FDN, sendo esse comportamento justificado pelo menor tamanho médio de partículas e maior gravidade específica destes ingredientes quando comparado com FFF. Tal afirmativa levantada por GRANT (1997) está em concordância com os resultados encontrados no presente estudo em que rações contendo casca de soja e a torta de algodão desengordurada tiveram a taxa de passagem de sólidos alterada, bem como a taxa de digestão da fração FDN.

Para alguns autores, em se tratando de substituições de FFF por FFNF em rações para bovinos, alterações na taxa de trânsito de partículas no rúmen são consideradas importantes, uma vez que, de acordo com FIRKINS e EASTRIDGE (1992) a diminuição da digestibilidade da fibra pode estar mais ligada ao aumento da taxa de passagem de FFNF do que o pH ruminal propriamente dito.

Johnson et al. (1959) afirmaram que a taxa de passagem de algumas FFNF, como a cascas de soja, são tão altas a ponto de impedir a máxima digestão da fibra. Nesse cenário, os autores levantaram a possibilidade de se desenvolver alternativas que possam aumentar o tempo médio de retenção ruminal no intuito de melhorar a digestibilidade da fibra nessas situações.

Nakamura e Owen (1989) verificaram elevação de 8 unidades percentuais na taxa de passagem da casca de soja quando a inclusão desta FFNF foi aumentada na ração, de 50% para 95,3%, na ração total. Estes autores relataram que a elevação na taxa de passagem pode ter sido a principal responsável pela diminuição da digestibilidade das frações FDN e FDA, em rações com inclusão elevada de casca de soja.

Para Lopez-Guisa e Satter (1991) o tipo de fonte de fibra utilizada em conjunto com FFNF pode influenciar o tempo médio de retenção ruminal de co-produtos e, conseqüentemente, a sua digestibilidade devido a ação de “aprisionamento” (do inglês *entrapment*) desses ingredientes no *mat* ruminal formado pela ação de forragens contendo fibras longas.

Trabalho clássico como o de Hintz et al. (1964) compararam rações contendo casca de soja, com ou sem a adição de feno, na mistura total. Estes autores observaram que quando a casca de soja foi fornecida exclusiva, a digestibilidade da fibra bruta foi apenas de 66,3%. Por outro lado, quando a casca de soja foi fornecida com feno na proporção de 1:1 na ração total, a digestibilidade da fibra bruta aumentou para 80,5%.

Weidner e Grant (1994a) substituíram 40% de uma mistura contendo silagem de milho e silagem de alfafa por casca de soja em rações para vacas em lactação, com ou sem a inclusão de feno de alfafa picado grosseiro. A inclusão de casca de soja e feno aumentou a consistência do *mat* ruminal, elevou o pH ruminal e aumentou o tempo de

ruminação. Por outro lado, sem a inclusão de feno de alfafa picado grosseiramente a casca de soja não apresentou o mesmo comportamento. Tais autores relataram que o aumento na consistência do *mat* ruminal foi provavelmente influenciado por alterações na distribuição de partículas em diferentes tamanhos na digesta ruminal, bem como na taxa de passagem (4,9/hora e 5,7/hora para casca de soja nas rações com e sem a adição de feno de alfafa, respectivamente) quando a casca de soja foi fornecida em combinação com feno.

Concomitantemente, rações semelhantes foram fornecidas em trabalho de Weidner e Grant (1994b) no qual a casca de soja foi substituída em 15 e 25% da MS em uma mistura contendo silagem de milho e silagem de alfafa, com ou sem a inclusão de feno picado grosseiramente. A inclusão de 15% de casca de soja e feno aumentou a digestibilidade da fração FDN no trato total (61,5%) em comparação ao tratamento sem a inclusão de feno (48,6%). Quando a casca de soja foi incluída na porcentagem mais elevada (25% na MS), a digestibilidade aparente da fração FDN no trato total foi maior para a ração sem a inclusão de feno picado grosseiramente (60,5%) em comparação a ração contendo feno picado (58%).

#### 4.4 Conclusões

Alterações em fontes de fibra nas rações alteraram a fermentação ruminal e o pH ruminal de bovinos de corte.

Substituições parciais de silagem de milho por cana-de-açúcar, bagaço *in natura* de cana-de-açúcar, casca de soja ou torta de algodão desengordurada em rações contendo a mesma proporção da fração FDN não promoveram alterações na digestibilidade da MS. Em contrapartida, as fraes constituintes da parede celular, FDN e FDA, tiveram o coeficiente de digestibilidade aparente das rações totais influenciado significativamente pelas fontes e teor de fibra.

Pelo estudo da cinética de degradação *in situ* não houve diferença na fração potencialmente digestível (A) e indigestível da matéria seca (U). Por outro lado, observou-se diferenças entre as frações  $A_n$  e  $U_n$  da fração FDN.

Diferentes fontes e teor de fibra alteraram os parâmetros da taxa de passagem de sólidos, contudo resultados semelhantes foram observados para as taxas de passagem de líquidos.

## Referências

AKAIKE, H. A new look at the statistical model identification. **IEEE Transactions on Automatic Control**, v.19, p.716-723, 1974.

ALLEN, M.S. Relationship between fermentation acid production in the rumen and the requirement for physically effective fiber. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 80, p. 1447-1462, 1997.

ANDRADE, M.A.F.; PEREIRA, M.N. Performance of Holstein heifers on fresh sugarcane as the only dietary forage. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 82 (Suppl. 1), p. 91, 1999.

ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS. **Official methods of analysis of AOAC International**. 16<sup>th</sup>. Ed. Arlington, 1995. v. 2, chap. 33, p. 10-11.

ARMENTANO, L.E.; PEREIRA, M.N. Measuring the effectiveness of fiber by animal response trials. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 80, p. 1416-1425, 1997.

BHATTI, S.A.; BOWMAN, J.G.P.; FIRKINS, J.L.; GROVE, A.V.; HUNT, C.W. Effect of intake level and alfalfa substitution for grass hay on ruminal kinetics of fiber digestion and particle passage in beef cattle. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 86, p. 134-145, 2008.

BEAUCHEMIN, K.A.; FARR, B.I.; RODE, L.M.; SCHAALJE, G.B. Effects of alfalfa silage chop length and supplementary long hay on chewing and milk production of dairy cows. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 77, p. 1326-1339, 1994.

BINNERTS, W.T.; Van't KLOOSTER, A.T.; FRENS, A.M. Soluble chromium indicator measured by atomic absorption in digestion experiments. **Veterinary Research**, Les Ulis, v. 82, p. 470, 1968.

BURNHAM, K.P.; ANDERSON, D.R. Multimodel Inference: Understanding AIC and BIC in Model Selection. **Sociological Methods & Research**, v.33, p.261-304, 2004.

CHANEY, A.L.; MARBACK, E.P. Modified reagents for determination of urea and ammonia. **Clinical Chemistry**, Washington, v.8, p. 130-137, 1962.

DEFOOR, P.J.; GALYEAN, M.L.; SALYER, G.B.; NUNNERY, G.A.; PARSONS, C.H. Effects of roughage sources and concentration on intake and performance by finishing heifers. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 81, p. E8-E16, 2002.

DE VEGA, A.; POPPI, D. Extent of digestion and rumen condition as factors affecting passage of liquid and digesta particles. **Journal of Agricultural Science**, v. 128, p. 207-215 1997.

EL-SHAZLY, K; DEHORITY, B.A.; JOHNSON, R.R. Effect of starch on the digestion of cellulose *in vitro* and *in vivo* by rumen microorganisms. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 20, v. 20, p. 268-273, 1961.

EZEQUIEL, J.M.B.; GALATI, R.L.; GASTALDI, K.A.; QUEIROZ, M.A.A; MENDES, A.R.; FEITOSA, J.V. Degradabilidade da matéria seca e pH ruminal em bovinos alimentados com cana-de-açúcar *in natura*, hidrolisada ou hidrolisada fenada. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 37., 2001. Piracicaba, **Anais...** Viçosa: SBZ, 2001. p. 277-279.

FAICHNEY, G.J. The kinetics of particulate matter in the rumen. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON RUMINANT PHYSIOLOGY, 6., 1984, Canada, Control of digestion and metabolism in ruminants... **Proceedings...** Canada: A Reston Book, 1984. p. 173-195.

FIRKINS, J.L.; EASTRIDGE, M.L. Replacement of forage or concentrate with combinations of soyhulls, sodium bicarbonate, or fat for lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, Savoy, v. 75, p. 1944-1955, 1992.

GALYEAN, M.L.; DEFOOR, P.J. Effects of roughage source and level on intake by feedlot cattle. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 81, p. E8-E16, 2003.

GRANT, R.J. Interactions among forages and nonforage fiber sources. **Journal of Dairy Science**, Savoy, v. 80, p. 1438-1446, 1997.

GRANT, R.J.; MERTENS, D.R. Influence of buffer pH and raw corn starch addition on *in vitro* fiber digestion Kinetics. **Journal of Dairy Science**, Savoy, v. 75, p. 2762-2768, 1992.

GRANT, R.J.; COLENBRANDER, V.J.; ALBRIGHT, J.L. Effect of particle size of forage and rumen cannulation upon chewing activity and laterality in dairy cows. **Journal of Dairy Science**, Savoy, v. 73, p. 3158-3164, 1990.

HEINRICHS, A.J.; BUCKMASTER, D.R.; LAMMERS, B.P. Processing, mixing, and particle size reduction of forages for dairy cattle. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 77, p. 180-186, 1999.

HENRIQUE, W.; FILHO, J.A.B.; LEME, P.R.; LANNA, D.P.D.; ALLEONI, G.F., FILHO, J.L.V.C.; SAMPAIO, A.A.M. Avaliação da silagem de grãos de milho úmido com diferentes volumosos para tourinhos em terminação. Desempenho e características de carcaça. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 36, n. 1, p. 183-190, 2007.

HINTZ, H.F.; MATHIES, M.M.; LEY, H.F.; LOOSLI, J.K. Effects of processing and of feeding hay on the digestibility of soybean hulls. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 23, p. 43, 1964.

HUNTINGTON, J.A.; GIVENS, D.I. The *in situ* technique for studying the rumen degradation of feeds: a review of the procedure. **Nutrition Abstracts and Reviews (Series B)**, New York, v.65, n.2, p. 63-93, 1995.

JOHNSON, L.; HARRISON, J.H.; DAVIDSON, D.; ROBUTTI, J. SWIFT, M.; MAHANNA, B.; SHINNERS, K. Corn silage management I. Effects of hybrid, maturity, mechanical processing, on chemical and physical characteristics. **Journal of Dairy Science**, Savoy, v. 85, p. 833-858, 2002.

JUNG, H.G.; ALLEN, M.S. Characteristics of plant cell walls affecting intake and digestibility of forage by ruminants. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 73, p. 2774-2790, 1995.

KAUFMANN, W., ;HAGEMEISTER, H. ;DIRKSEN, G.. Adaptation to changes in dietary composition, level, and frequency of feeding. In: RUCKEBUSCH, Y. ; THIVEND, P (Ed.). **Digestive physiology and metabolism in ruminants**. Westport: AVI Publishing 1980.p181.

KREIKEMEIER, K.K.; HARMON, D.L.; BRANDT, Jr., R.T.; NAGARAJA, T.G.; COCHRAN, R.C. Steam-rolled wheat diets for finishing cattle: effects of dietary roughage and feed intake on finishing steer performance and ruminal metabolism. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 68, p. 2130-2141, 1990.

LIRA, V.M.C.; PEREIRA, J.C.; VIEIRA, R.A.M.; HENRIQUE, D.S.; LEONEL, F.P. Avaliação de marcadores e modelos matemáticos para o estudo das cinéticas de trânsito e degradação ruminal em novilhos mantidos em pastagem de capim-braquiária. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.35, p.902-913, 2006.

LITTELL, R.C., MILLIKEN, G.A., STROUP, W.W., WOLFINGER, R.D., SCHABENBERGER, O. **SAS<sup>®</sup> for Mixed Models**. Cary: SAS Institute 2006. 814p.

LOPEZ-GUISA, J.M.; SATTER, L.D.; Effect of forage source on retention of digesta markers applied to corn gluten meal and brewers grain for heifers. **Journal of Dairy Science**, Savoy, v. 74, p. 4297-4309, 1991.

MAEKAWA, M.;BEAUCHEMIN, K.A.;CHRISTENSEN, D.A. Chewing activity, saliva production and ruminal pH of primiparous and multiparous lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, Savoy, v. 85, p. 1176-1182, 2002.

MERTENS, D.R. Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, Savoy, v. 80, p. 1463-1482, 1997.

MERTENS, D.R. Physically effective NDF and its use in formulating dairy rations. **Feedstuffs**,Minnesota, v. 10, p. 11-14, Apr. 2000.

MOORE, J.A; POND, K.R.; POORE, M.H. Influence of model and marker on digesta kinetic estimates for sheep. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 70, p. 3526-3540, 1992.

NAKAMURA, T.; OWEN, F.G. High amounts of soyhulls for pelleted concentrate diets. **Journal of Dairy Science**, Savoy, v. 72, p. 988, 1989.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requirements of beef cattle**. 7<sup>th</sup>. ed. Washington: National Academy Press, 1996. 242p.

NOCEK, J.E. In situ and other methods to estimate ruminal protein and energy digestibility: a review. **Journal of Dairy Science**, Savoy, v. 71, n.8, p. 2051-2069, 1988.

OBA, M.; ALLEN, M.S. Evaluation of the importance of the digestibility of neutral detergent fiber from forage: Effects on dry matter intake and milk yield of dairy cows. **Journal of Dairy Science**, Savoy, v. 82, p. 589-596, 1999.

ORSKOV, E.R.; McDONALD, I. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurement weighted according to rate of passage. **Journal of Agricultural Science**, Westport, v.92, n.1, p.499-503, 1979.

OWENS, F.N. Optimization of feedlot diets with high density of energy and nutrients. In: SIMPÓSIO DE PRODUÇÃO DE GADO DE CORTE, 6., ; SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE PRODUÇÃO DE GADO DE CORTE,2., 2008. Viçosa, **Anais...** Viçosa: UFV, 2008b. p. 95-120.

OWENS, F.N.; GOETSCH, A.L. Ruminant fermentation. In: CHURCH, D.C. (Ed.). **The ruminant Animal Digestive physiology and nutrition**. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1988. p121.

PALMQUIST, D.L.; CONRAD, H.R. Origin of plasma fatty acids in lactating cows fed high grain or high fat diets. **Journal of Dairy Science**, Savoy, v. 54, p. 1025-1030, 1971.

PRIGGE, E.C.; FOX, J.T.; JACQUEMET, N.A.; RUSSELL, R.W. Influence of forage species and diet particle size on the passage of digesta and nylon particles from the reticulorumen of steers. **Journal of Animal Science**, Champaign, v.71, p. 2760-2769, 1993.

SHAIN, D.H.; STOCK, R.A.; KLOPFENSTEIN, T.J.; HEROLD, D.W. The effect of forage source and particle size on finishing yearling steer performance and ruminal metabolism. **Journal of Animal Science**, Champaign v. 77, p. 1082-1092, 1999.

THEURER, C.B.; SWINGLE, R.S.; WANDERLEY, R.C.; KATTNIG, R.M.; URIAS, A.; GHENNIWA, G. Sorghum grain flake density and source of roughage in feedlot diets. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 77, p. 1066-1073, 1999.

VAN SOEST, P. **Nutritional ecology of the ruminant**. 2<sup>nd</sup> ed. Ithaca: Cornell University Press, 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**, Savoy, v. 74, n.10, p. 3583-3597, 1991.

VIEIRA, R.A.M.; TEDESCHI, L.O.; CANNAS, A. A generalized compartmental model to estimate the fibre mass in the ruminoreticulum: 2. Estimating parameters of digestion. **Journal of Theoretical Biology**, Tokyo, v, 255, p. 357-368, 2008a.

VIEIRA, R.A.M.; TEDESCHI, L.O.; CANNAS, A. A generalized compartmental model to estimate the fibre mass in the ruminoreticulum: 2. Integrating digestion and passage. **Journal of Theoretical Biology**, Tokyo , v, 255, p. 357-368, 2008b.

WEIDNER, S.J.; GRANT, R.J. Altered ruminal mat consistency by high percentages of soybean hulls fed to lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, Savoy, v. 77, p. 522-532, 1994a.

WEIDNER, S.J.; GRANT, R.J. Soyhulls as a replacement for forage fiber in diets for lactation dairy cows. **Journal of Dairy Science**, Savoy, v. 77, p. 513-524, 1994b.

WELCH, J.G. Ruminal, particle size and passage from the rumen. **Journal of Animal Science**, Champaign ,v. 54, n 4, p. 885-894, 1982.

WOODFORD, S.T.; MURPHY, M.R. Effect of forage physical form on chewing activity, dry matter intake, and rumen function of dairy cows in early lactation. **Journal of Dairy Science**, Savoy, v. 71, p. 674-686, 1988.

ZINN, R.A.; WARE, R.A. Forage quality: digestive limitations and their relationships to performance of beef and dairy cattle. In: ANNUAL SOUTHWEST NUTRITION & MANAGEMENT CONFERENCE, 22, 2007. Tempe. **Proceedings...** Tempe, 2007. p. 49 – 54.

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)