

VITOR PEREIRA BETTERO

**DEGRADAÇÃO *IN VITRO* E TRÂNSITO RUMINAL DA FIBRA EM DIETAS COM
SUPLEMENTOS LIPÍDICOS**

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

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2011

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

T

B565d
2011

Bettero, Vitor Pereira, 1986-

Degradação *in vitro* e trânsito ruminal da fibra de dietas
com suplementos lipídicos / Vitor Pereira Bettero. – Viçosa,
MG, 2011.

viii, 41f. : il. (algumas col.) ; 29cm.

Orientador: José Carlos Pereira.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 33-41.

1. Bovino de leite - Nutrição. 2. Lantânio. 3. Gordura.
4. Algodão - Semente. 5. Soja como ração. 6. Vaca.
I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

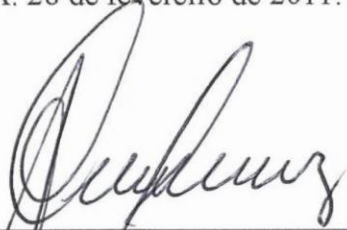
CDD 22. ed. 636.2085

VITOR PEREIRA BETTERO

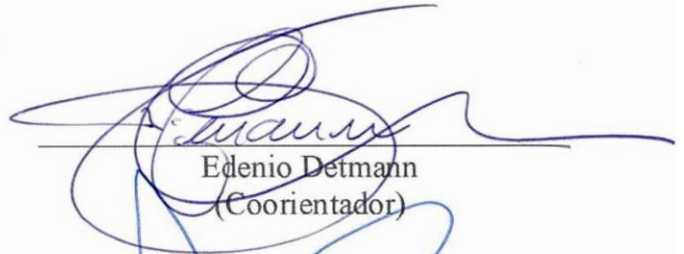
DEGRADAÇÃO *IN VITRO* E TRÂNSITO RUMINAL DA FIBRA EM DIETAS COM SUPLEMENTOS LIPÍDICOS

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

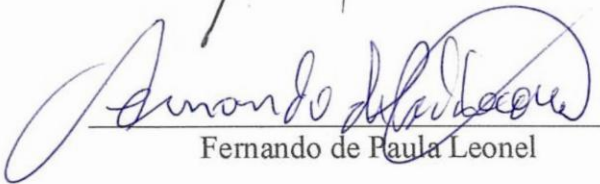
APROVADA: 28 de fevereiro de 2011.




Augusto César de Queiroz
(Coorientador)



Elenio Detmann
(Coorientador)



Fernando de Paula Leonel



Marcelo Teixeira Rodrigues



José Carlos Pereira
(Orientador)

A Deus, por iluminar o meu caminho e possibilitar minha superação mesmo nos momentos mais difíceis.

Aos meus avós Eliá Santos Pereira e Ignácio da Silva Pereira por acreditarem em mim e tornarem tudo isso possível.

Ao meu pai, o maior incentivador dos meus estudos, pelo apoio e força sempre presentes.

À minha mãe por todo amor e compreensão durante todo esse tempo.

Ao meu irmão Igor e minha prima Mariana pela amizade eterna.

A toda minha família, tias, tios, primos e primas pelo carinho e incentivo.

A todos da Fazenda Fortaleza em Muqui-ES, onde a minha paixão pela Zootecnia começou e principalmente à minha tia Sônia Maria Bettero (in memoriam) pela lição de vida e superação.

Dedico

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Viçosa pela oportunidade de realização deste curso.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pelo financiamento do projeto e pela bolsa de estudos concedida.

Ao Departamento de Zootecnia do Centro de Ciências Agrárias pelo apoio.

Ao professor José Carlos Pereira, mestre e educador, pela orientação e exemplo a ser seguido como profissional e ser humano.

Ao professor Fernando Leonel pela co-orientação, amizade e disponibilidade.

Ao professor Edenio Detmann, o reconhecimento pela contribuição à tese, pelo empenho e colaboração na obtenção dos modelos e nas análises estatísticas.

Aos professores Augusto César de Queiroz e Marcelo Teixeira Rodrigues pelas sugestões e pelas contribuições à dissertação.

Aos estagiários Marcius, Nayra, Juninho e Dirceu que foram fundamentais na execução do experimento, seja na parte de campo ou no laboratório.

Ao grande Henrique Machado, companheiro de experimento, exemplo de paciência e humildade, sem ele a realização desse trabalho não seria possível.

Aos meus irmãos científicos e acima de tudo amigos Claudilene, Franscine, Cássio e Tadeu, pela parceria e pela ajuda.

Aos funcionários do Estábulo e do Laboratório de Nutrição Animal do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa, pelas contribuições durante a realização do experimento e das análises laboratoriais.

À Celeste e Fernanda, pela prestatividade e disposição em nos atender sempre.

Aos demais professores do Departamento de Zootecnia não listados, pelos ensinamentos e agradável convivência.

Aos amigos remanescentes da turma de 2004 da Zootecnia (Carlota, Luciano, Jociara, Geraldo, Andreza, Jeferson, Renata, Lívia, Ériton, Ferrugem) pela amizade, companheirismo e momentos de lazer.

Aos demais amigos da pós-graduação, companheiros de estudo e trabalho.

Às duas grandes amigas que fiz durante o mestrado Ana Paula Gomide e Andressa Fernanda, presentes nos momentos difíceis e nos momentos de descontração e que com certeza vão ficar pra sempre.

A todos que colaboraram, direta ou indiretamente, para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

Vitor Pereira Bettero, filho de Dayse Pereira Bettero e Aroldo Bettero, nasceu em Vitória, no estado do Espírito Santo, em 31 de julho de 1986.

Em março de 2004, iniciou na Universidade Federal de Viçosa o curso de Graduação em Zootecnia, obtendo o título de Zootecnista em janeiro de 2009.

Em março de 2009, ingressou no curso de Mestrado em Zootecnia, na Universidade Federal de Viçosa (UFV), concentrando seus estudos na área de Nutrição de Ruminantes, submetendo-se à defesa de dissertação em 28 de fevereiro de 2011.

“Para realizar grandes conquistas, devemos não apenas agir, mas também sonhar; não apenas planejar, mas também acreditar.”

(Anatole France)

"Quando o homem aprender a respeitar até o menor ser da criação, seja animal ou vegetal, ninguém precisará ensiná-lo a amar seu semelhante."

(Albert Schweitzer)

“Só existem dois dias no ano que nada pode ser feito. Um se chama ontem e o outro se chama amanhã, portanto hoje é o dia certo para amar, acreditar, fazer e principalmente viver.”

(Dalai Lama)

SUMÁRIO

RESUMO	viii
ABSTRACT	viii
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Metabolismo e Efeitos dos Lipídeos na Alimentação de Ruminantes	3
1.2. Fontes Lipídicas.....	5
1.2.1. Grão de Soja	5
1.2.2. Óleo de Soja	6
1.2.3. Carço de Algodão	7
1.2.4. Sais de Cálcio	8
1.3. Cinética de Trânsito de Partículas e Degradação da fibra	10
2. OBJETIVOS.....	12
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	12
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
5. CONCLUSÃO.....	33
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33

RESUMO

BETTERO, Vitor Pereira, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2011. **Degradação *in vitro* e trânsito ruminal da fibra em dietas com suplementos lipídicos.** Orientador: José Carlos Pereira. Coorientadores: Augusto César de Queiroz e Edenio Detmann.

Objetivou-se com o presente estudo avaliar o comportamento da fibra no trato digestório por meio da cinética de trânsito de partículas provenientes do volumoso e concentrado em vacas recebendo dietas com diferentes fontes lipídicas, a correlação desses parâmetros com o consumo de matéria seca (CMS) e fibra em detergente neutro (CFDN), porcentagem de gordura no leite (G) e produção de leite corrigida para 3,5% de gordura (PLC), bem como avaliar a dinâmica de degradação *in vitro* da fibra em detergente neutro das dietas (FDN). Foram utilizadas cinco vacas primíparas em lactação da raça Holandesa, as quais apresentavam 99 ± 22 dias de lactação, $480,4 \pm 2,8$ kg de peso corporal e produção de leite diária de $20,14 \pm 2,23$ kg. Os tratamentos foram constituídos a partir da adição de diferentes fontes lipídicas às dietas: 1- controle (sem adição de fonte lipídica); 2- grão de soja moído; 3- caroço de algodão; 4- óleo de soja; e 5- sais de cálcio (Megalac-E®). Não foram verificadas diferenças ($P > 0,05$) entre tratamentos no tocante à passagem ruminal de sólidos na fração volumosa nem na fração concentrada. Observou-se estimativa média global para os parâmetros de taxa de passagem (γ) de 0,038 e 0,055 h⁻¹ para volumoso (cromo) e concentrado (lantânio), respectivamente. Os tempos de trânsito no rúmen-retículo (TMRR) também não diferiram entre dietas, apresentando valor médio de 52,84 e 38,15 horas para volumoso e concentrado, respectivamente. O único efeito significativo do que diz respeito à taxa de passagem foi uma alta correlação negativa entre a taxa de passagem do concentrado (γ_{LA}) e O CMS. Não houve diferença para todas as outras correlações avaliadas. Não foram encontradas diferenças significativas da fração potencialmente degradável da FDN (FDN_{pd}). A fração efetivamente degradada (FEDT) também não foi significativamente diferente entre os tratamentos. Verificou-se menor fração indegradável da FDN (I) nos tratamentos sem adição lipídica e com sais de cálcio (38,47 e 36,61%, respectivamente) em relação aos demais tratamentos. A suplementação da dieta com fontes lipídicas na forma livre, inerte, ou parcialmente protegida, ao nível de aproximadamente 5% da matéria seca, não alteram os parâmetros de cinética de trânsito de partículas do volumoso e do concentrado e a degradação *in vitro* da FDN.

ABSTRACT

BETTERO, Vitor Pereira, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2011. ***In vitro* degradation and transit ruminal of fiber in diets with lipid supplements.** Adviser. José Carlos Pereira. Co-Advisers: Augusto César de Queiroz and Edenio Detmann.

This study was carried out to evaluate the behavior of the fiber in the digestive tract through the kinetics of passage of particles from the forage and concentrate in cows fed diets with different lipid sources, the correlation of these parameters on the dry matter intake (DMI) and neutral detergent fiber (NDFI), percentage of fat in milk (G) and corrected milk yield for 3,5% fat (CMY), as well as evaluate the *in vitro* degradation dynamics of neutral detergent fiber (NDF) of the diets. Five Holstein lactating primiparous cows, which had 99 ± 22 days of lactation, 480.4 ± 2.8 kg body weight and daily milk production of 20.14 ± 2.23 kg. The treatments were constituted from the addition of different lipid sources in diets: 1- Control (without added fat source) 2- ground soybean, 3- cottonseed; 4- soybean oil and 5- calcium salts (Megalac-E ®). No significant differences ($P > 0.05$) between treatments regarding to the passage of solids in the rumen neither in the stover nor concentrated fraction. Global mean estimate for the parameters of passage rate (γ) was 0.038 and 0.055 h⁻¹ for forage (chromium) and concentrate (lanthanum), respectively. Despite numerical differences, the residence times in the rumen-reticulum (TMRR) did not differ between diets, showing an average value of 52.84 and 38.15 hours to forage and concentrate, respectively. The only significant effect with respect to the passage rate was a high negative correlation between the rate of passage of concentrate (γ_{LA}) and DMI. There was no difference for all other correlations tested. There were no significant differences of the potentially degradable NDF (pdNDF). The effective degraded fraction (FEDT) was not significantly different between treatments. There was less undegradable NDF (I) in treatments without added lipid and calcium salts (38.47 and 36.61%, respectively) compared to other treatments. Dietary supplementation with lipid sources on their own, inert, or partially protected, at about 5% of dry matter, does not alter the kinetic parameters of passage of particles of roughage and concentrate and the *in vitro* NDF degradation.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente o cenário da pecuária nacional indica, de forma clara, um avanço tecnológico tanto nos sistemas de produção de leite quanto de carne, nos quais têm-se buscado cada vez mais um elevado grau de intensificação com o objetivo de trabalhar com margens de lucro reduzidas, causadas principalmente pelo aumento do preço dos insumos. Para isso, houve uma busca incessante em selecionar indivíduos com maior potencial de produção e que, especialmente no caso na pecuária leiteira, culminou na obtenção de animais cada vez mais exigentes nutricionalmente.

Devido aos avanços do melhoramento genético em bovinos leiteiros, a deficiência energética durante o início do ciclo lactacional tornou-se um dos grandes fatores limitantes para a produção de leite. A demanda energética desses animais excede, em muitos casos, a capacidade do consumo de energia da dieta, o que pode resultar em redução do desempenho produtivo e problemas de saúde (Harvatine & Allen, 2006), sendo que a adequação dos níveis energéticos constitui medida essencial para suportar as altas produções de leite desses animais (Eastridge & Firkins, 1991).

Os lipídeos são nutrientes recomendados para obtenção de maior ingestão de energia principalmente na fase inicial da lactação, por apresentarem elevada concentração calórica e utilização metabólica mais eficiente do que os ácidos graxos voláteis (AGV), os quais constituem a principal fonte de energia para os ruminantes (Blaxter, 1967; Palmquist & Jenkins, 1980; Elliott et al., 1993; NRC, 2001). Com o objetivo de atender às necessidades energéticas de vacas em lactação, o uso de lipídios, por possuírem alta eficiência metabólica e por serem extremamente ricos em energia (9,4 Kcal/g, equivalente a cerca de 2,25 vezes a energia de carboidratos desde que sejam absorvidos e fiquem a disposição para serem metabolizados), tem sido recomendado para aumentar a densidade energética das dietas e evitar os efeitos prejudiciais de altas quantidades de concentrados ricos em amido sobre o ambiente ruminal (Doreau & Chilliard, 1997), além de proporcionar maior eficiência energética resultante de menor produção de calor pelo animal ao ingerir dietas com alta concentração lipídica (Aseltine, 1988), e frequentemente melhorar a eficiência da conversão de alimentos.

Além disso, lipídeos são componentes essenciais na dieta de animais por aumentar a capacidade de transporte e absorção de vitaminas lipossolúveis, fornecer ácidos graxos essenciais e, principalmente, atuar como precursores para regulação do metabolismo. Em geral, as dietas dos ruminantes possuem baixos teores de lipídios, variando entre 2,5 e 3,0%, dependendo do tipo de concentrado utilizado.

Os lipídeos são compostos de ácidos graxos pertencentes principalmente a dois grupos: insaturados e saturados (Franco, 2001). Esse grau de insaturação é o que mais interfere na digestibilidade dos ácidos graxos (Jenkins, 1993). Jenkins e Jenny (1989) observaram redução na digestibilidade aparente dos ácidos graxos de 68 para 47% quando a fonte de gordura com 99% de ácidos graxos insaturados foi substituída por fonte de gordura saturada. Assim, quanto mais insaturado o ácido graxo, maior sua digestibilidade e, portanto, seu valor energético. O aumento do tamanho da cadeia também pode diminuir a digestibilidade (Grummer, 1991).

A maior parte dos ácidos graxos de cadeia longa é do tipo saturado devido aos processos de lipólise e biohidrogenação que ocorrem no rúmen. Como consequência, há certa predominância de gordura saturada no bovino. Cerca de 88,0% da gordura ingerida que chega ao rúmen é do tipo insaturada (C18:1- Ácido Oléico; C18:2- Ácido Linoléico e C18:3- Ácido Linolênico). Após passar pelos processos mencionados anteriormente, somente 49,5% dessa mesma gordura será considerada insaturada. Os 50,5% restantes correspondem aos ácidos graxos saturados (C14:0- Ácido mirístico; C16:0- Ácido palmítico e C18:0- Ácido esteárico) (Marques, 2003).

De acordo com Palmquist (1989), as fontes de lipídeos comerciais destinados à suplementação de rações concentradas podem ser divididas em três categorias: sementes inteiras de oleaginosas (soja, girassol, algodão, canola, etc.), óleos e gorduras livres (óleos vegetais, sebo e misturas de gordura animal e vegetal) e gorduras especiais “protegidas” (sais de cálcio de ácidos graxos). Como opções de alimentação com dietas ricas em lipídios, os alimentos de origem vegetal como a soja e o algodão, sementes oleaginosas ricas em ácidos graxos, destacam-se pelo preço e pela palatabilidade (Mora, 1995).

Além disso, a utilização dietética de fontes lipídicas ricas em ácidos graxos poliinsaturados, oriundas de sementes de oleaginosas e óleos vegetais pode gerar uma grande quantidade de intermediários na biohidrogenação ruminal, principalmente de ácidos graxos apresentam propriedades benéficas à saúde. Porém, a inclusão destas fontes; dependendo do nível, tipo e extensão da biohidrogenação; podem acarretar distúrbios como a depressão na produção de

gordura no leite e alteração na digestibilidade em especial da fibra, podendo levar à diminuição do aproveitamento de alguns nutrientes pelo animal (Costa, 2008). A adição desse tipo de suplemento nas suas mais diversas formas não protegidas provocam decréscimo na degradação da fração fibrosa da dieta e alterações no metabolismo ruminal, pois inibe a atividade microbiana no rúmen se usada em altas quantidades (Palmquist, 1989).

1.1. Metabolismo e Efeitos dos Lipídeos na Alimentação de Ruminantes

Os efeitos negativos na fermentação ruminal em dietas com gordura acima do limite crítico, entre 6 a 8% de extrato etéreo na dieta como recomendação geral, ocorreriam por dois principais motivos: 1) efeito tóxico dos ácidos graxos aos microrganismos, pois os ácidos graxos alteram a permeabilidade da membrana da flora ruminal e 2) efeito físico pelo recobrimento das partículas alimentares com gordura, com conseqüente redução do contato destas com agentes de digestão. Segundo Kozloski (2002) o efeito tóxico pode ser devido à possível alteração na composição lipídica e das propriedades físico-químicas das membranas celulares dos microrganismos. Outro efeito muito consistente da suplementação lipídica é a diminuição na concentração de amônia ruminal, resultante da redução da proteólise e/ou reciclagem de bactérias em conseqüência da diminuição do número de protozoários ciliados, que predam essas bactérias, resultando em maior eficiência da síntese de proteína microbiana. Pode ocorrer aumento na produção ruminal de propionato e, geralmente, ocorre redução na metanogênese (Nagajara et al., 1997).

De acordo com Palmquist (1988) o efeito dos ácidos graxos sobre a degradação no rúmen pode ser controlado se a dieta possuir grande quantidade de volumoso, devido principalmente pela capacidade da forragem de manter o funcionamento ruminal normal. O grau de insaturação dos ácidos graxos é provavelmente a mais importante característica que influencia a degradação da fibra (Jenkins, 1993). Com isso, os efeitos de ácidos graxos insaturados sobre a digestão ruminal podem ser variáveis, onde a quantidade de volumoso utilizado na dieta pode ser considerado fator fundamental (Ueda et al. 2003).

Neste ponto fica claro que fontes de gordura mais insaturadas são mais problemáticas do que fontes saturadas. De fato, óleos vegetais têm maior grau de toxicidade no rúmen do que

gorduras animais (uso proibido em função da Instrução Normativa nº 8 de 25/03/2004 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento).

Os estudos sobre o metabolismo lipídico no rúmen têm se concentrado principalmente na manipulação dos fenômenos físicos-químicos do rúmen com dois objetivos: controlar os efeitos antimicrobianos dos ácidos graxos, de forma que a gordura adicional possa ser empregada na alimentação de ruminantes, sem prejuízo à digestão e à fermentação ruminal, e regular a biohidrogenação microbiana para controlar a absorção de determinados ácidos graxos que podem melhorar o desempenho ou reduzir a saturação da gordura da carne e do leite (Jenkins, 1993).

Os lipídeos que chegam ao rúmen são inicialmente hidrolisados onde os triacilgliceróis liberam ácidos graxos livres (AGL) e glicerol por ação de lipases de natureza extracelular produzidas pelos microrganismos ruminais. O glicerol é fermentado rapidamente, produzindo como produto final o ácido propiônico. A bactéria *Anaerovibrio lypolitica* parece ser o principal microrganismo envolvido no processo hidrolítico de triacilgliceróis, enquanto a *Butyrivibrio fibrosolvens* é a grande responsável pelo processo hidrolítico de fosfolipídeos e galactolipídeos (Harfoot & Hazlewood, 1997). A hidrólise é geralmente alta (>85%) e pode ser influenciada por fatores como o nível de gordura na ração, pH ruminal e a utilização de ionóforos, que podem inibir a atividade e crescimento de bactérias (Doreau & Chilliard, 1997; Harfoot & Hazlewood, 1997). A partir daí ocorre a biohidrogenação, com o objetivo de reduzir o número de duplas ligações dos ácidos graxos insaturados provenientes das fontes de gordura (Jenkins, 1993; Bauman & Lock, 2006). Adicionalmente, a biohidrogenação contribui para retirada de íons H^+ do ambiente ruminal, evitando seu acúmulo; e com isso há redução da produção de metano pelas bactérias metanogênicas, aumentando assim, a eficiência energética da dieta.

O processo de biohidrogenação pode ser considerado um mecanismo de autodefesa dos microrganismos ruminais, que convertem ácidos graxos insaturados em ácidos saturados, que são conseqüentemente menos tóxicos a população microbiana ruminal. Embora a biohidrogenação possa ser alta, acima de 90%, a intensidade da realização desse processo depende das características das fontes de gordura, tempo de retenção dessas fontes no rúmen e características da população microbiana (Allen, 2000).

Segundo o NRC (2001), redução na degradação da fração fibrosa, alterações na fermentação ruminal e redução no teor de gordura no leite constituem fortes indícios que a

suplementação lipídica promoveu resposta negativa nos animais que receberam suplementação lipídica.

1.2. Fontes Lipídicas

1.2.1. Grão de Soja

A soja é um grão rico em proteínas, cultivado em todo mundo como fonte de alimento para humanos e animais, e pertencente à família *Fabaceae* (leguminosa). Destaca-se entre os alimentos protéicos de origem vegetal como fonte alternativa de proteína e energia, sendo considerada semente de oleaginosa mais disponível no mundo, podendo ser usada na alimentação dos ruminantes na sua forma original (crua) ou processada (Corrêa, 2007). Considera-se que resultados obtidos com grão de soja cru (moído grosseiramente, peletizado ou macerado) são iguais ou melhores quando comparados aos de processos de aquecimento, extrusão ou esfarelamento (Earleywine, 1989). Quanto ao custo, isso poderia acarretar vantagem econômica, pois em regiões produtoras brasileiras, na maioria das vezes, o preço do grão de soja é menor que o do farelo de soja.

Entre as características nutritivas da soja integral importantes na nutrição de ruminantes destaca-se a grande quantidade de proteína degradável no rúmen (PDR), que pode ser convertida em proteína não degradada no rúmen (PNDR) por meio de tratamento térmico, e ao seu elevado teor de energia devido ao teor de extrato etéreo. As sementes de oleaginosas se destacam por apresentar alto conteúdo de ácidos graxos poliinsaturados. O ácido linoléico (C18:2) predomina nas fontes mais comuns, sendo que a soja apresenta maiores concentrações de ácido linolênico (C18:3) (Dhiman et al., 2005).

Uma das vantagens do grão de soja integral como fonte lipídica para ruminantes é a lenta liberação de lipídios no rúmen, onde a capacidade de hidrogenação da microbiota ruminal não é excedida, impedindo possível redução na degradação da fibra pelo efeito negativo que ácidos graxos insaturados podem causar nas bactérias fibrolíticas (Coppock & Wilks, 1991; Palmquist, 1991). Isso ocorre em sementes de oleaginosas porque a maioria dos lipídios encontra-se no germe e, portanto, há necessidade da degradação da parede celular para que a hidrólise se inicie.

Após a liberação da matriz, os triacilgliceróis são rapidamente fermentados a ácidos graxos voláteis (Palmquist & Mattos, 2006).

Schauff et al. (1992) avaliaram a inclusão de grão de soja cru na dieta de vacas lactantes, na proporção de 15 a 20% na matéria seca total, e verificaram que em quantidades menores que 12% da matéria seca da dieta de soja crua fornecida, não foram observados efeitos negativos sobre a fermentação ruminal.

1.2.2. Óleo de Soja

O óleo de soja possui em torno de 75% de ácidos graxos insaturados em sua composição, de modo que estes podem atuar na diminuição da produção de metano, redução da concentração de N-NH₃ ruminal, aumento na eficiência da síntese microbiana e aumento de ácido linoléico conjugado (CLA) no leite (Allen, 2000; Onetti & Grummer, 2004; Palmquist & Mattos 2006).

A utilização de óleo de soja em rações de vacas no início de lactação não tem gerado reduções no consumo de matéria em alguns experimentos, sendo esta resposta ligada à qualidade da fibra em detergente neutro (FDN) da forragem e à relação volumoso:concentrado (Onetti et al., 2001). Pode haver diminuição da taxa de passagem, de forma que ocorra aumento do aproveitamento da fibra da dieta, influenciando também o consumo de energia líquida, entretanto, os dados referentes à suplementação com óleo de soja ainda mostram resultados inconsistentes relacionados à digestibilidade aparente total (Jenkins, 1993; UEDA et al., 2003).

Vargas et al. (2002) a suplementação com 4,6% de óleo de soja na matéria seca total em dietas com silagem de sorgo para vacas mestiças Holandês-Zebu no início de lactação, avaliando o consumo de matéria seca e fermentação ruminal. Neste experimento houve efeito depressor dos lipídios sobre o consumo de matéria seca, sem contudo afetar os parâmetros ruminais, com exceção do butirato e pH. Lipídios insaturados inibiram as bactérias ruminais gram-positivas e estimularam aquelas produtoras de propionato, causando decréscimo na relação acetato:propionato e produção de metano (Richardson et al., 1976; Chalupa et al., 1984).

1.2.3. Carozo de Algodão

O carozo de algodão compreende o grão e a casca. Nele ficam ainda as fibras curtas presas ao grão denominadas línter, cujo teor pode variar de 4% a 8% no carozo, que também servem como fonte de fibra facilmente digestível para os ruminantes. Esse coproduto é considerado um alimento completo para ruminantes, porque reúne características de alimento volumoso (> 18% de Fibra Bruta na MS), de concentrado protéico (> 20% de Proteína Bruta na MS) e de concentrado energético (rico em energia). Após a extração da fibra do algodão (descarozamento), seu principal produto, aproximadamente 30% da massa total é resíduo sólido (carozo de algodão) o qual poderá provocar a contaminação do solo e da água se não tiver uma destinação correta, como a extração do óleo ou aproveitamento na alimentação animal.

O carozo de algodão integral tem grande potencial de utilização em dietas de ruminantes em função de seus teores elevados de energia, tendo em média 96% de nutrientes digestíveis totais (NDT). Suas fibras são similares às das forragens em termos de digestão no rúmen, mas é possível que a gordura do carozo cause problemas de absorção de nutrientes, pois os ácidos graxos reduzem a atividade microbiana ruminal, porém sua fibra pode ser útil no arraçoamento de animais com altas proporções de concentrados na dieta.

Outro limitante do carozo seria o gossipol, um composto polifenólico. Ele existe nas formas "livre" e "ligada" (à proteína, principalmente ao aminoácido lisina). Na forma "ligada" ele é considerado não tóxico por não poder ser absorvido no trato digestório. A forma "livre" pode ser tóxica, e atua reduzindo a capacidade de transporte de oxigênio do sangue, resultando em respiração mais curta e edema de pulmões. O carozo de algodão possui maior quantidade de gossipol livre, enquanto que nos farelos, o aquecimento durante o processamento faz com que a maior parte se apresente na forma ligada, embora o valor total não se altere. O gossipol presente no carozo é tóxico para animais monogástricos, mas os ruminantes parecem possuir capacidade, através dos microrganismos do rúmen, de anular este efeito tóxico até certo nível de ingestão.

Abel-Caines et al. (1997) sugeriram que o carozo de algodão é uma excelente fonte de fibra efetiva capaz de auxiliar na ruminação. Clark & Armentano (1993) avaliaram a efetividade da fibra em detergente neutro do carozo de algodão e grãos secos de cereais em dietas de vacas em lactação, onde o carozo de algodão promoveu maior atividade de mastigação do que os grãos de cereais. Esses autores concluíram que o carozo de algodão pode servir como suplemento de fibra

efetiva para dietas baseadas em silagem pré-seca de alfafa com baixa relação volumoso:concentrado.

Segundo Vilella et al. (1997), a inclusão de até 30% de caroço de algodão em rações concentradas não afeta os consumos de MS, MO, PB, FDN e NDT, bem como também não verificaram influências sobre a eficiência na síntese de proteína microbiana nem sobre os coeficientes de digestibilidade da MS, MO, PB e EE.

Quando o caroço de algodão é aberto para liberar o grão que será esmagado, sobram as cascas, excelente fonte de fibra efetiva, com real capacidade de estimular o rúmen e de alta aceitabilidade para os ruminantes (Araújo et al., 2003).

Teixeira & Huber (1989) realizaram trabalho de degradabilidade "in situ" e estudaram a incubação do caroço de algodão com linter e sem linter (inteiro, quebrado e moído) e a casca de algodão quebrada e moída. Os resultados de degradabilidade da MS e PB do caroço de algodão com 24 horas de incubação foram 6,5% e 8,3% para o caroço de algodão inteiro e 12,7% e 21,7% para o caroço de algodão inteiro quebrado, respectivamente. Esses autores relataram ainda que o caroço de algodão moído apresentou maior degradabilidade efetiva para MS e PB, quando comparado com o caroço de algodão quebrado. Mostraram também que sementes de algodão sem linter apresentaram degradabilidade superior às com linter. Afirmaram ainda que o caroço de algodão tem sua degradabilidade praticamente no rúmen, sendo baixa a degradabilidade da proteína não degradável.

1.2.4. Sais de Cálcio de Ácidos Graxos

Uma alternativa para reduzir os problemas metabólicos oriundos dos alimentos ricos em gordura seria o fornecimento de gordura protegida do ambiente ruminal, que não influencia o processo digestivo, sendo solubilizada e absorvida no intestino delgado (Aferri et al., 2005).

A gordura protegida mais usada atualmente é o sal de cálcio de ácidos graxos, obtidos a partir de ácidos graxos de cadeia longa. Esses ácidos graxos reagem com os sais de cálcio e ficam unidos na forma de um sal, e são também são chamados comumente de sabões de cálcio. Os sais de cálcio de ácidos graxos não são necessariamente protegidos, uma vez que se misturam ao conteúdo ruminal e seus ácidos graxos são biohidrogenados. Os sais de cálcio dever ser apropriadamente chamados de "inertes", por não interferirem na atividade microbiana no rúmen.

Normalmente, a biohidrogenação dos ácidos graxos insaturados nessas fontes é a metade do valor observado nas fontes convencionais (Palmquist & Mattos, 2006).

O princípio dessa técnica consiste em reduzir a biohidrogenação por diminuição de grupos carboxílicos livres dos ácidos graxos. O processo de biohidrogenação só ocorre em ácidos graxos insaturados na sua forma livre, ou seja, o grupamento carboxílico do ácido graxo insaturado deve estar em sua forma livre para que as enzimas bacterianas possam iniciar o processo de biohidrogenação. Esses sais se associam aos grupamentos carboxílicos dos ácidos graxos insaturados, impedindo o início da biohidrogenação (Costa, 2008). Os sais de cálcio somente são associados no organismo animal em meio ácido. No rúmen, o meio é apenas ligeiramente ácido, o que faz com que ele permaneça inerte. Ao chegar ao abomaso, o meio torna-se mais ácido (pH = 2-3) ocorrendo o desdobramento dos sais de cálcio, com a liberação para o intestino dos ácidos graxos e íons de cálcio, que serão absorvidos e levados pela corrente sanguínea.

Existem no mercado sais de cálcio de ácidos graxos formados a partir de óleo de palma, colza e soja, sendo que os dois últimos são mais insaturados e mais dissociados e biohidrogenados no rúmen. Klusmeyer & Clark (1991) utilizaram sais de cálcio em 4% da dieta total em vacas fistuladas no rúmen e duodeno e, observaram biohidrogenação de 33%, concluindo que os ácidos graxos são somente parcialmente protegidos da atividade microbiana ruminal.

Grummer (1988) avaliou dois suplementos comerciais fornecidos para vacas em lactação, sendo diferentes na composição de ácidos graxos, especialmente no teor de C18, e não observou efeitos dos suplementos sobre a fermentação ruminal. Palmquist (1989) comparou cinco suplementos comerciais de gordura fornecidos entre 2,85 e 5,70% da MS total para vacas Jersey, sendo que os suplementos diferiam na composição dos ácidos graxos e tecnologia de fabricação mas houve diferença nos coeficientes de digestibilidade de nutrientes, sendo que somente a fermentação ruminal foi levemente afetada quando foi utilizado os sais de cálcio de ácidos graxos de óleo de palma.

Schauff et al. (1992) avaliaram a suplementação com sais de cálcio de ácidos graxos de óleo de palma com níveis de 0, 3, 6 e 9% da MS total em vacas Holandesas fistuladas no rúmen, no início de lactação, sendo utilizado como volumoso feno de alfafa moído e silagem de milho. Estes autores observaram que o consumo de matéria seca reduziu linearmente com o aumento dos níveis de sais de cálcio na dieta, definindo como nível ótimo 6% da MS. A produção de leite

também reduziu com o aumento dos níveis de sais de cálcio. De acordo com esses resultados estes autores concluíram que a aceitabilidade dos sais de cálcio pode ser problema quando fornecido acima de 6% da matéria seca da dieta.

1.3. Cinética de Trânsito de Partículas e Degradação da fibra

Sabe-se que os alimentos que chegam ao rúmen passam por dois mecanismos que determinam seu aproveitamento no trato gastrointestinal, a degradação e a passagem para o trato gastrointestinal posterior. A passagem está relacionada ao consumo, processamento e tipo de alimento consumido, influenciando na disponibilidade dos nutrientes para o animal e produzindo efeitos no balanço dos produtos de fermentação ruminal (Russell et al., 1992). As interações entre a taxa de degradação e taxa de passagem determinam a magnitude da digestão dentro de um compartimento e a quantidade de material potencialmente digerível presente nas fezes. A redução na digestibilidade da matéria seca total e da fibra, ocasionada pelo excesso de lipídeos na dieta, pode reduzir a taxa de passagem e, conseqüentemente, o consumo de matéria seca e energia líquida. Dependendo da natureza desses lipídeos e a forma como chegam ao rúmen, seja livre ou parcialmente protegida, esse efeito pode ser maximizado ou reduzido.

A taxa de passagem refere-se ao escape de resíduos não-digeridos e digeridos através do trato gastrointestinal. O escape inclui, além da fibra indegradável, bactérias e outras frações não-degradadas do alimento, devendo ser ressaltado que a composição da dieta (Moore et al., 1992; Gomes et al., 1994; Rosado et al., 1994; Van Soest, 1994) é a variável que mais influencia a passagem da digesta. Os fatores dietéticos incluem o consumo voluntário, a quantidade e a forma física da fibra (Mertens, 1977).

A taxa de remoção da digesta ruminal afeta a extensão da degradação protéica (Ørskov e McDonald, 1979), a degradação da parede celular e, conseqüentemente, a digestão total da dieta (Allen & Mertens, 1988; Van Soest, 1994) e a eficiência de síntese de proteína microbiana (Sniffen & Robinson, 1987), o que justifica a importância de se estudar a cinética de trânsito de partículas. Portanto, digestão e passagem atuam de forma simultânea e competitiva para a remoção da digesta presente no rúmen, devendo-se, então, estudar os efeitos combinados de digestão e taxa de passagem para maximizar o consumo de nutrientes digestíveis (Abreu, 2008).

O tamanho de partícula influencia a taxa de passagem, pois determina maior ou menor capacidade de renovação do conteúdo ruminal e, conseqüentemente, do consumo e efetividade de utilização dos alimentos ingeridos. Partículas grandes dificultam o acesso dos microrganismos ao interior da célula para realizar a degradação devido à menor superfície específica (Kovács et al., 1998) e menor quantidade de reentrâncias e fissuras nas camadas envoltórias do conteúdo celular, que permitem a colonização inicial. Além disso, partículas maiores possuem menor gravidade específica, aumentam o tempo de ruminação e formam uma malha suspensa no interior do rúmen. Esses fatores elevam o volume e diminuem a capacidade de renovação do conteúdo do rúmen-retículo, fazendo com que o desempenho animal possa ser influenciado devido à redução da ingestão. Por outro lado, partículas muito reduzidas aumentam a velocidade de passagem pelo rúmen, o que reduz o tempo de ação da microbiota ruminal.

O aumento do consumo geralmente resulta em maior taxa de passagem de solutos e partículas. A elevação na proporção de fibra na dieta estimula a atividade propulsiva. A medida mais comum da taxa de passagem é o tempo médio de retenção (TMR), que é uma função das taxas de passagem pelo rúmen (lenta) e pós-rúmen (rápida) e do tempo necessário para o aparecimento do marcador nas fezes, denominado tempo de trânsito (Faichney, 1993; Thiago & Gill, 1990).

. A caracterização do alimento de acordo com sua composição química e constituição de suas diferentes frações degradáveis ou não no rúmen é o grande objetivo dos nutricionistas para alcançar com êxito o balanceamento de rações que proporcionem nutrientes para o crescimento e desenvolvimento dos microrganismos do rúmen e para o animal. Para avaliar a degradação da fibra vários métodos podem ser utilizados. Portanto, técnicas *in vivo*, *in vitro* e *in situ* têm sido utilizadas para determinar o aproveitamento das diferentes frações dos alimentos. Gonçalves (2000) relata que a manutenção de animais fistulados para o estudo dos eventos digestivos constitui altos custos e requer cuidados especiais com estes animais durante toda sua vida. Dessa forma, as vantagens da utilização da técnica *in vitro* residem na sua rapidez, na uniformidade físico-química do microambiente de fermentação e na conveniência de não manter animais fistulados. Este método, no entanto, pode oferecer algumas possibilidades de falhas, por não se utilizarem adequadamente o inóculo, os nutrientes essenciais, os tampões ou os equipamentos que garantam as condições do pH e anaerobiose (Van Soest, 1994). Além disso, o fato de não reproduzir o ambiente ruminal poderia ser considerado sua maior limitação.

Contudo, quando o objetivo do ensaio é determinar as propriedades intrínsecas do alimento, esta desvantagem pode não causar maiores problemas, uma vez que as condições podem ser controladas de maneira a prevenir as flutuações físico-químicas do ambiente, o que permite isolar a característica de interesse do alimento (Mertens e Loften, 1980; Mertens, 1993).

2. OBJETIVOS

Objetivou-se com o presente estudo:

1. Avaliar o trânsito da fibra no trato digestório por meio da cinética de trânsito de partículas provenientes do volumoso e concentrado em vacas recebendo dietas com diferentes fontes lipídicas, bem como a correlação desses parâmetros com o consumo de matéria seca e fibra em detergente neutro, porcentagem de gordura no leite e produção de leite corrigida.
2. Avaliar a dinâmica de degradação *in vitro* da FDN em diferentes suplementos lipídicos.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Unidade de Ensino, Pesquisa e Extensão em Gado de Leite do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa–MG.

Foram utilizadas cinco vacas primíparas em lactação da raça Holandesa, as quais apresentavam, ao início do experimento, 99 ± 22 dias de lactação, $480,4 \pm 2,8$ kg de peso corporal e produção de leite diária de $20,14 \pm 2,23$ kg. Os animais foram manejados em baias cobertas do tipo *tie-stall*, com acesso a comedouros e bebedouros individuais.

O experimento foi instalado conforme delineamento em quadrado latino 5 x 5, com cinco tratamentos, cinco animais e cinco períodos experimentais.

Os tratamentos foram constituídos por diferentes fontes lipídicas dietéticas: controle (sem adição de fonte lipídica); grão de soja moído; caroço de algodão; óleo de soja; e sais de cálcio (Megalac-E®).

As rações foram fornecidas com o intuito de manter a relação volumoso:concentrado na proporção de 55:45 na matéria seca (MS), utilizando-se a silagem de milho como alimento volumoso. O concentrado foi formulado e constituído por milho grão, farelo de trigo, farelo de soja, uréia e suplemento mineral. A inclusão das fontes lipídicas ao concentrado deu-se de forma a manter o teor de extrato etéreo (EE) da dieta na proporção de 5%, com base na MS. Todas as rações foram formuladas para serem isoprotéicas e suprir as exigências de manutenção e produção dos animais conforme o NRC (2001).

Na Tabela 1 é apresentada a composição química dos ingredientes e suplementos de lipídeos utilizados no experimento.

Tabela 1 - Composição química dos ingredientes e suplementos de lipídeos

Alimento	MS%	% MS ¹			
		MO ²	PB ³	EE ⁴	FDN ⁵
Silagem de milho	33,43	93,64	5,76	3,61	60,17
Milho grão	88,89	98,35	9,32	3,40	14,30
Soja grão crua	93,83	92,50	37,92	20,20	21,30
Farelo de soja	88,88	93,65	49,06	2,32	14,05
Sais de cálcio	97,04	83,50	0,00	85,00	0,00
Caroço de algodão	94,05	96,35	19,92	20,00	49,59
Óleo de soja	99,88	100,00	0,00	100,00	0,00
Farelo de trigo	88,00	94,27	18,45	4,05	46,49

¹Matéria seca; ²Matéria orgânica; ³Proteína bruta; ⁴Extrato etéreo; ⁵Fibra em detergente neutro.

As proporções dos ingredientes utilizados na formulação dos concentrados estão representadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Proporção dos ingredientes nos concentrados experimentais, expressos na matéria seca (% MS)

Ingrediente	Concentrados				
	C	GS	CA	OS	SC
Milho grão	54,88	53,33	46,66	55,55	55,55
Soja grão crua	0,00	26,66	0,00	0,00	0,00
Farelo de soja	26,66	13,33	24,44	33,33	33,33
Sais de cálcio	0,00	0,00	0,00	0,00	5,55
Caroço de algodão	0,00	0,00	22,22	0,00	0,00
Óleo de soja	0,00	0,00	0,00	4,44	0,00
Uréia/Suf. de amônio (9:1)	2,88	2,22	2,22	2,22	2,22
Farelo de trigo	11,11	0,00	0,00	0,00	0,00
Bicarb. Na/Óx Mg (2:1)	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88
Vit ADE	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22
Mist mineral ¹	3,33	3,33	3,33	3,33	2,22
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

C = Controle (sem adição de fonte lipídica); GS = Grão de soja; CA = Caroço de algodão; OS = Óleo de soja; SC = Sais de cálcio (Megalac-E®).

¹ Composição em 100kg: 42,5 kg de fosfato bicálcico, 25 kg de calcário, 21 kg de sal comum, 7,5 kg de cloreto de potássio, 2,5 kg de sulfato de amônio, 1,25 kg de sulfato de zinco, 250 g de sulfato de cobre, 15 g de sulfato de cobalto e 5 g de selenito de sódio.

Na Tabela 3 são indicadas as proporções dos ingredientes utilizados nas dietas e a composição química média das dietas, respectivamente. Cada período experimental teve duração de 21 dias, sendo os quatorze primeiros dias destinados à adaptação dos animais às rações e os demais para coleta de amostras, para posteriormente determinar as taxas de passagem de sólidos por meio da marcação da fibra do volumoso e do concentrado e avaliar a correlação desses parâmetros com o consumo de matéria seca (CMS), consumo de fibra em detergente neutro (CFDN), porcentagem de gordura no leite (%G) e produção de leite corrigida (PLC).

Tabela 3 – Composição das dietas experimentais com base na matéria seca (% MS)

Ingredientes	Dietas				
	C	GS	CA	OS	SC
Silagem de milho	55,00	55,00	55,00	55,00	55,00
Milho grão	24,70	24,00	21,00	25,00	25,00
Soja grão crua	0,00	12,00	0,00	0,00	0,00
Farelo de soja	12,00	6,00	11,00	15,00	15,00
Sais de cálcio	0,00	0,00	0,00	0,00	2,50
Caroço de algodão	0,00	0,00	10,00	0,00	0,00
Óleo de soja	0,00	0,00	0,00	2,00	0,00
Uréia/Suf. de amônio (9:1)	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00
Farelo de trigo	5,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Bicarb. Na/Óx MG (2:1)	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
Vit ADE	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Mist mineral ¹	1,50	1,50	1,50	1,50	1,00
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Item	Composição química				
MS	58,69	59,30	59,22	58,93	58,83
MO	93,57	93,57	93,64	93,44	93,28
PB	15,92	16,00	15,80	15,66	15,66
EE	3,30	5,36	5,00	5,10	5,30
FDN	38,00	37,60	39,50	36,50	36,50

C = Controle (sem adição de fonte lipídica); GS = Grão de soja; CA = Caroço de algodão; OS = Óleo de soja; SC = Sais de cálcio (Megalac-E®). Matéria seca (MS), matéria orgânica (MO), proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE), fibra em detergente neutro (FDN).

¹ Composição em 100kg: 42,5 kg de fosfato bicálcico, 25 kg de calcário, 21 kg de sal comum, 7,5 kg de cloreto de potássio, 2,5 kg de sulfato de amônio, 1,25 kg de sulfato de zinco, 250 g de sulfato de cobre, 15 g de sulfato de cobalto e 5 g de selenito de sódio.

Os animais foram alimentados duas vezes ao dia logo após as ordenhas, às 6h30 e às 16h00 na forma de dieta completa, misturando-se manualmente o concentrado ao volumoso. Diariamente foram feitas pesagens do oferecido e das sobras para avaliação do consumo, ajustando-se a quantidade de maneira a permitir sobras de aproximadamente 10% do ofertado. Para efeito de quantificação e avaliação do consumo foram considerados os alimentos fornecidos

entre o 14° e 18° dia de cada período experimental, sendo as sobras computadas entre o 15° e o 19° dia. As amostras de volumoso e sobras obtidas foram processadas em moinho de facas (1 mm), acondicionadas em potes plásticos e armazenadas para posteriores análises de matéria seca (Silva & Queiroz, 2002) e FDN (Van Soest et al., 1991).

As vacas foram ordenhadas mecanicamente, duas vezes ao dia, fazendo-se o registro da produção de leite entre o 15° e o 21° dia do período experimental. Foi coletada amostra de leite no 19 ° dia, nas ordenhas da manhã e da tarde, fazendo-se a amostra composta de aproximadamente 100 mL proporcional à produção de cada ordenha, para fins de análise de gordura no leite, que foi realizada no Laboratório Nutrição Animal do Departamento de Zootecnia da UFV .

A produção de leite corrigida (PLC) para 3,5% de gordura, foi estimada segundo Sklan et al. (1992), pela seguinte equação:

$$\text{PLC} = (0,432 + 0,1625 \times \% \text{ gordura do leite}) \times \text{produção de leite em kg/dia.}$$

Os parâmetros da cinética de passagem de partículas foram estimados utilizando o cromo mordente à fibra da silagem de milho e o lantânio fixado à fibra do farelo de soja. Os alimentos marcados foram comuns a todos os tratamentos.

Os procedimentos para marcar a fibra da silagem de milho seguiram as recomendações de Udén et al., (1980). Para isolamento da fibra oriunda da silagem, as amostras foram secas em estufa com ventilação forçada (60°C). Posteriormente, procedeu-se à fervura do material por 1 hora em solução de detergente neutro (100 mL de detergente neutro comercial e 1 L de água para cada 100 g de material seco). Após a fervura, o material foi filtrado em tecido de algodão e lavado com água corrente para remoção dos componentes solúveis e seco (60°C). Ao material fibroso adicionou-se dicromato de sódio ($\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$), em quantidade de cromo equivalente a 13% do peso da fibra a ser marcada. Posteriormente, diluiu-se a fibra e o dicromato de sódio em água em um recipiente de vidro com 5 L de capacidade. O recipiente foi coberto com papel alumínio e mantido em estufa a 100°C por 24 horas. Após este período, o material foi novamente filtrado em tecido de algodão e lavado em água corrente para remoção do excesso de dicromato. O material foi re-suspenso em água, adicionando-se à solução ácido ascórbico em quantidade correspondente a 50% do peso da fibra. Após 1 hora em repouso, o material foi filtrado em tecido de algodão e lavado até o completo clareamento da água, sendo posteriormente seco em estufa com ventilação forçada (60°C).

Os procedimentos para marcar a fibra do farelo de soja seguiram as recomendações de Hartnell & Satter (1979). Para extração da fibra do farelo de soja, as amostras foram diluídas em solução de detergente neutro (20 mL de detergente neutro comercial e 1,5 L de água para cada 500 g de amostra) e submetidas à fervura por 1 hora. O material resultante foi filtrado em tecido de algodão, lavado em água corrente para remoção dos materiais solúveis e seco em estufa com circulação forçada de ar (60°C). O material fibroso foi então imerso por 24 horas em solução acidificada com ácido clorídrico (pH = 2,0) na proporção de 100 g de material por litro de solução. Após a imersão da fibra, o pH foi novamente corrigido para 2,0. Após esse período, o material foi retirado da solução acidificada e imerso em solução de cloreto de lantânio (1,733 L de água destilada, 267 mL de ácido clorídrico concentrado com 12 N e 8 g de óxido de lantânio para cada 200 g de fibra). A solução assim preparada propiciou a relação de 40 mg de lantânio/g de fibra. Após 24 horas, o material foi transferido para um saco de algodão e lavado em água corrente até o clareamento desta. Em seguida, o material foi seco em estufa com ventilação forçada (60°C).

Foram fornecidos aos animais 75 g de fibra marcada com cromo e 50 g de fibra marcada com lantânio, via oral, às 06h30 do décimo sétimo dia de cada período experimental. As amostras fecais foram tomadas diretamente do reto dos animais em 0, 4, 8, 12, 16, 24, 30, 36, 48, 56, 72, 96 e 120 horas após o fornecimento dos indicadores e, em seguida, foram secas sob ventilação forçada (60°C) e processadas em moinhos de facas (1 mm).

As amostras de fezes relativas aos procedimentos para quantificação dos parâmetros da cinética de trânsito da fração volumosa foram analisadas quanto aos teores de MS (Silva & Queiroz, 2002) e cromo (Williams et al., 1962). Os teores de cromo foram determinados em espectrofotômetro de absorção atômica, chama de óxido nitroso/acetileno, com comprimento de onda de 398,8 nm e abertura de fenda de 0,2 nm (Huhtanen & Kukkonen, 1995).

Para posterior obtenção das soluções e leitura das amostras com a fibra quelatada com o lantânio (La) foi utilizada a metodologia descrita por Hartnell & Satter (1979) com alguns ajustes, sendo a análise feita por via seca em banho de areia (200° C), onde foi utilizada uma massa de amostra de 5 g em cadinhos de 100 mL e a digestão realizada com ácido clorídrico 6 N. Esse procedimento se deu no intuito de melhorar a detecção do indicador pelo aparelho de espectroscopia de emissão de plasma (marca: Perkin Elmer; modelo: Optima 3300 DV), em que as soluções foram submetidas posteriormente.

Os parâmetros da cinética de trânsito foram estimados por intermédio do ajustamento à curva de excreção fecal do indicador de cada unidade experimental do modelo gama-2 tempo-dependente descrito por Ellis et al. (1994):

$$C_t = Z \times (t - \tau) \times \gamma \times \exp[-\gamma \times (t - \tau)] \quad (1);$$

em que:

C_t = concentração fecal do indicador no tempo “t” (ppm);

t = tempo após o fornecimento do indicador (h);

γ = parâmetro taxa tempo-dependente relativo ao fluxo ruminal de partículas fibrosas (h^{-1});

Z = parâmetro sem interpretação biológica direta (ppm x h) e

τ = tempo decorrido entre a aplicação e o aparecimento do indicador nas fezes (h).

Os tempos médios de retenção no rúmen-retículo foram estimados segundo Ellis et al. (1994):

$$TMRR = \frac{2}{\gamma} \quad (2);$$

em que:

TMRR = tempo médio de retenção no rúmen-retículo (h); e γ como definido anteriormente.

Os ajustamentos não-lineares foram realizados por intermédio do algoritmo iterativo de Gauss-Newton (Souza, 1998), implementado no PROC NLIN do programa SAS (*Statistical Analysis System*, versão 9.2).

As estimativas do parâmetro γ e do TMRR foram comparadas por intermédio de análise de variância segundo delineamento em quadrado latino 5 x 5, considerando-se como fixos os efeitos de tratamentos e períodos experimentais e como variável o efeito de animais. As análises foram realizadas utilizando-se o PROC MIXED do SAS, utilizando-se estrutura homogênea da matriz de (co)variâncias, sendo os graus de liberdade computados pelo método de Kenward-Roger.

Foram estimados coeficientes de correlação linear de Pearson entre os parâmetros da cinética de trânsito e características de consumo e produção. As estimativas foram obtidas de

forma ajustada para os efeitos de animal e período experimental pela rotina de MANOVA implementada no PROC GLM do SAS.

Ressalta-se que em dois animais não se conseguiu convergência do modelo não linear no tocante aos dados de passagem das partículas marcadas com lantânio, sendo, portanto, eliminados da análise.

Para os procedimentos de avaliação *in vitro* da dinâmica de degradação da FDN, alíquotas de silagem de milho (192,5 mg de MS) foram acondicionadas em frascos de vidro tipo “penicilina” com 50 mL de volume total. Em seguida, acondicionou-se o concentrado correspondente a cada um dos tratamentos anteriormente descritos, com o intuito de manter a relação volumoso:concentrado usada no ensaio *in vivo* (55:45), perfazendo o total de 350 mg de MS por frasco. Posteriormente, foram adicionados 28 mL de solução tampão (McDougall, 1949), com pH previamente ajustado para 6,8 por intermédio de aspersão com CO₂.

Os frascos foram mantidos em sala climatizada (39°C) para prévia hidratação das amostras. Durante o processo de hidratação, foi coletado líquido ruminal proveniente de uma novilha ½ sangue doadora, fistulada no rúmen, mantida nas proximidades da sala de incubação. O animal foi alimentado *ad libitum* com silagem de milho e concentrado na forma de dieta completa (60% de volumoso) e teve acesso irrestrito a água e mistura mineral completa (6% de fósforo).

O líquido foi coletado na região de interface líquido:sólido do ambiente ruminal, filtrado por uma camada tripla de gaze, acondicionado em recipiente térmico e imediatamente transportado à sala de incubação. Foram adicionados 7 mL de inoculo ruminal por frasco, procedendo-se imediatamente à saturação do ambiente de incubação com CO₂ e à vedação dos frascos. Os frascos foram mantidos a 39°C, sob agitação orbital (40 rpm). A retirada dos gases oriundos da fermentação foi realizada a cada três horas com o auxílio de agulhas.

Foram avaliados os tempos de 0, 3, 6, 9, 12, 24, 36, 48, 72 e 96 horas de incubação. O procedimento de incubação foi repetido quatro vezes, perfazendo-se o total de quatro avaliações por tempo de incubação para cada tratamento. Ao final de cada tempo de incubação, os frascos foram retirados da sala climatizada, sendo o conteúdo filtrado sob vácuo em cadinhos filtrantes (porosidade grossa).

Os cadinhos foram então acondicionados em frascos de polietileno (120 mL), aos quais se adicionaram 50 mL de detergente neutro (Mertens, 2002). Após serem vedados, os frascos foram autoclavados (105°C/1 hora), de forma a se extraírem todos os componentes solúveis em

detergente neutro (técnica de micro-extração; Pell & Schofield, 1993). Após este tratamento, procedeu-se novamente à filtração sob vácuo e lavagem seqüencial do resíduo com água quente e acetona. A FDN residual foi obtida após secagem do material em estufa não ventilada (105°C/16 horas).

Os resíduos de FDN nos diferentes tempos, para cada tratamento, foram submetidos, por intermédio do algoritmo de Gauss-Newton, implementado no PROC NLIN do SAS, ao ajustamento do modelo logístico não-linear descrito por Van Milgen et al. (1991):

$$Rt = FDNpd \times (1 + \lambda \times t) \times \exp(-\lambda \times t) + FDNi \quad (3);$$

em que: Rt = resíduo não-degradado de FDN no tempo “t” (%); FDNpd = fração potencialmente degradável da FDN (%); FDNi = fração indegradável da FDN (%); λ = taxa fracional conjunta de latência e degradação da FDNpd (h^{-1}); e t = tempo (h).

Em virtude de o parâmetro λ representar conjuntamente as taxas de latência e degradação, estimou-se a taxa fracional de degradação a partir de λ utilizando-se as propriedades da distribuição gama-2 (Ellis et al., 1994):

$$kd = 0,59635 \times \lambda \quad (4);$$

em que: kd = taxa fracional de degradação da FDNpd (h^{-1}).

As estimativas de latência discreta foram obtidas segundo derivações de Vieira et al. (1997):

$$L = \frac{R(0) - R(t_i) + t_i}{R'(t_i)} \quad (5);$$

em que: L = latência discreta (h); R(0) = resíduo de FDN não degradado em t = 0 (%); R(t_i) = resíduo não-degradado de FDN obtido no ponto de inflexão da curva de degradação (%); R'(t_i) = derivada da curva ajustada de degradação para o ponto de inflexão (máxima taxa de degradação do substrato) (h^{-1}); t_i = tempo equivalente ao ponto de inflexão da curva de degradação (h).

Os valores de t_i foram obtidos segundo descrições de Van Milgen et al. (1991):

$$t_i = \frac{1}{\lambda} \quad (6);$$

As frações efetivamente degradadas da FDN foram obtidas em adaptação às sugestões de Ørskov & McDonald (1979), segundo a equação:

$$FED = \lim_{t \rightarrow \infty} \int_0^t f \left(-\frac{dRT}{dt} \right) dt \quad (7);$$

em que: FED = fração efetivamente degradada da FDN (%); f = função relativa ao deslocamento de sólidos no ambiente ruminal.

Para definição da função descrita em (7), assumiu-se deslocamento ruminal de sólidos de ordem gama-1 (Ellis et al., 1994), segundo a equação:

$$f = \exp(-k \times t) \quad (8);$$

em que: k = taxa fracional de deslocamento de sólidos no ambiente ruminal (h^{-1}), à qual foi obtida ponderando-se as taxas de passagem de sólidos do volumoso e concentrado obtidas no ensaio *in vivo*, em função da participação de cada um na FDN total da dieta.

Desta forma, estimou-se a fração efetivamente degradada por:

$$FED = FDNpd \times \frac{\lambda^2}{(\lambda + k)^2} \quad (9);$$

Para todos os procedimentos estatísticos adotou-se 0,05 como nível crítico de probabilidade para o erro tipo I.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As curvas de excreção fecal dos indicadores cromo (volumoso) e lantânio (concentrado) obtidas para cada tratamento nos horários 0, 4, 8, 12, 16, 24, 30, 36, 48, 56, 72, 96, 120 horas após o fornecimento do material marcado estão representadas na Figura 1.

As curvas obtidas para os tratamentos, através da excreção de cromo e lantânio, mostraram comportamento compatível com o observado em trabalhos dessa mesma natureza, o que contribui para um melhor ajuste dos dados ao modelo proposto. Isso indica que os indicadores foram eficientes ao representar o parâmetro avaliado. Porém, em dados de excreção de lantânio provenientes de dois animais não se conseguiu convergência do modelo não linear e por isso tiveram que ser excluídos da análise.

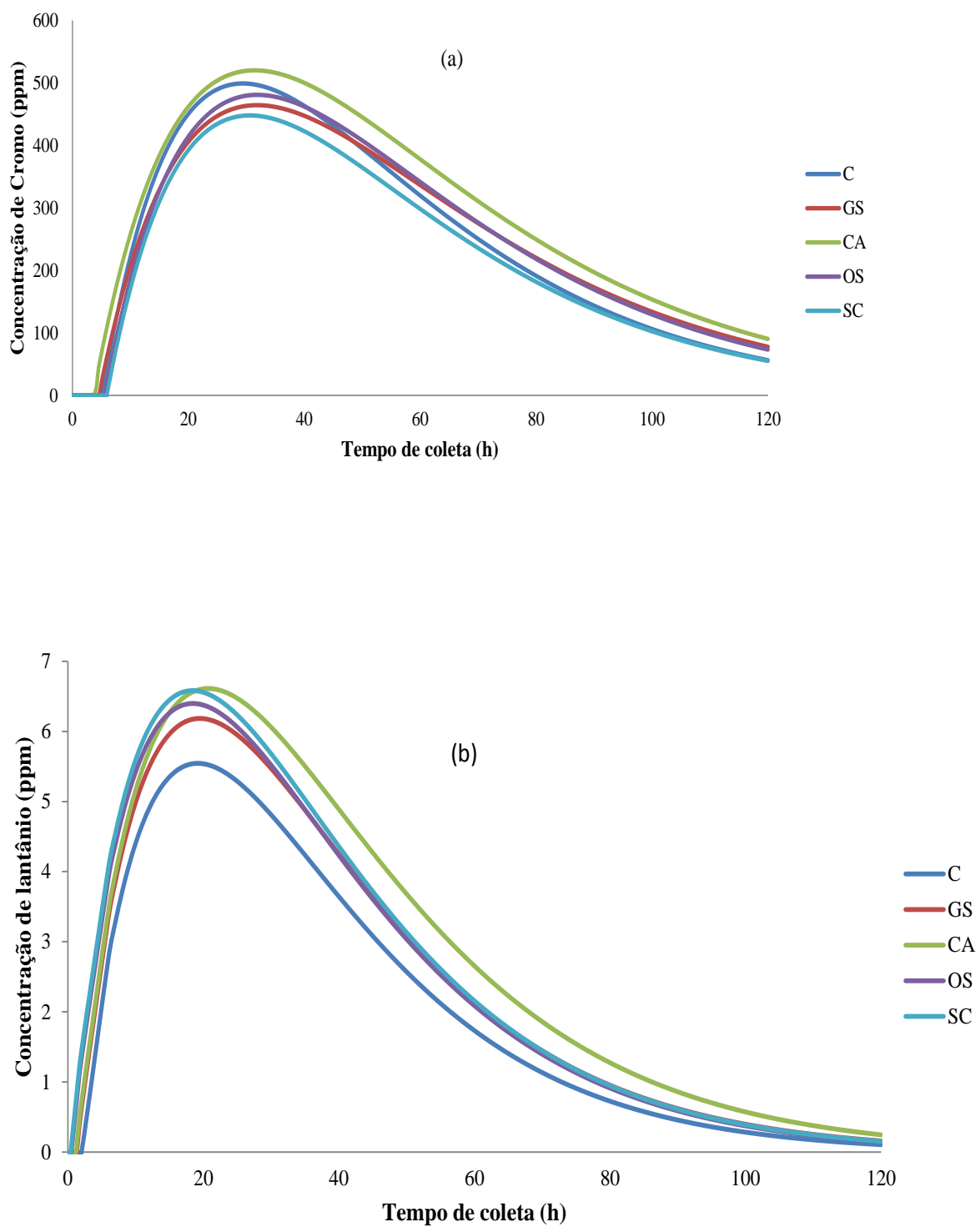


Figura 1 – Curvas de excreção do cromo (a) e do lantânio (b) em ppm, em função do tempo de coleta (h) nos diferentes tratamentos. C = Controle (sem adição de fonte lipídica); GS = Grão de soja; CA = Carço de algodão; OS = Óleo de soja; SC = Sais de cálcio (Megalac-E®).

As estimativas dos parâmetros do modelo de cinética de passagem de partículas do volumoso (cromo) e concentrado (lantânio) em função dos diferentes tratamentos são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Estimativas de parâmetros da cinética de trânsito da fibra em vacas em lactação submetidas às dietas com diferentes fontes de lipídeos

Item	Tratamentos					Valor-P
	C	GS	CA	OS	SC	
Volumoso						
γ	0,0412±0,0022	0,0366±0,0022	0,0359±0,0022	0,0380±0,0022	0,0405±0,0022	0,3636
TMRR	48,80±2,99	56,09±2,99	56,34±2,99	53,48±2,99	49,48±2,99	0,2507
Concentrado						
γ	0,0583±0,0052	0,0551±0,0052	0,0513±0,0052	0,0536±0,0074	0,0556±0,0052	0,9022
TMRR	34,69±4,31	36,81±4,31	41,15±4,31	40,55±6,08	36,55±4,31	0,7220

γ = parâmetro-taxa tempo-dependente relativo ao fluxo ruminal de partículas fibrosas (h^{-1}); TMRR = Tempo médio de retenção no rúmen-retículo. C = controle (sem adição de fonte lipídica); GS = grão de soja moído; CA = caroço de algodão; OS = óleo de soja; e SC = sais de cálcio (Megalac-E®).

Não foram verificadas diferenças ($P < 0,05$) entre dietas no tocante à passagem ruminal de sólidos na fração volumosa nem na fração concentrada. Observou-se estimativa média global para o parâmetro taxa tempo-dependente (γ) de 0,038 e 0,055 h^{-1} para volumoso (cromo) e concentrado (lantânio), respectivamente.

A taxa de passagem do alimento no rúmen é uma variável de grande importância, pois determina o fluxo da digesta pelo trato digestivo. Taxas de passagem maiores ocorrem com dietas altamente digestíveis, com altos consumos diários e que são fornecidas com maior frequência ao dia. Com a redução no tamanho de partícula do alimento aumenta-se o consumo de matéria seca, reduz a digestibilidade, e resulta em um tempo menor de retenção de sólidos. As rações que têm menor tamanho de partícula inicial entrarão no rúmen com um tamanho ainda menor depois da mastigação e deglutição inicial, e então saem do rúmen com uma taxa mais rápida. Aumentos na taxa de passagem ocorrem quando o alimento é mais digestível, em situações de maior consumo de MS e de maior frequência diária de alimentação. O resultado é um aumento na taxa de remoção do conteúdo ruminal que permite um aumento no consumo de matéria seca, mas devido à taxa de passagem ser mais rápida ocorre também uma redução no tempo disponível para os

microorganismos degradarem os alimentos. Por outro lado, a baixa taxa de passagem pode reduzir a eficiência de fermentação ao aumentar os gastos com manutenção das bactérias e a reciclagem microbiana no rúmen, o que disponibiliza menor quantidade de nitrogênio e energia para o crescimento microbiano (Waldo, 1986).

Como o tipo e o nível de volumoso usado foram os mesmos para os diferentes tratamentos, e os concentrados utilizados possuíam padrões homogêneos de moagem, com exceção do caroço de algodão que foi fornecido integralmente e por isso observou-se um tamanho de partícula maior, não eram esperadas diferenças nas taxas de passagem atribuídas ao fator tamanho de partícula. A quantidade de caroço necessária para manter as dietas com o nível de gordura desejado para esse estudo parece não ter influenciado a taxa de passagem de partículas.

Apesar das diferenças numéricas, o tempo de retenção no rúmen-retículo também não diferiu ($P > 0,05$) entre dietas, apresentando valor médio de 52,84 e 38,15 horas para volumoso e concentrado, respectivamente. O tempo de retenção ruminal é um dos fatores que pode influenciar a utilização da dieta, pois a digestão e passagem são processos concorrentes (Mertens, 1977), assim, partículas com taxas de passagem mais lentas podem ser digeridas mais amplamente no rúmen. O tempo de retenção no rúmen, calculado pela recíproca da taxa de passagem no órgão, está correlacionado com o nível de alimentação do animal, pois maiores consumos resultam em maiores taxas de passagem e, conseqüentemente, maior aporte de nutrientes para o animal. Entretanto, o consumo de MS dos animais foi relativamente constante e se manteve dentro dos limites normais observados para a categoria animal e nível de produção avaliados (com base nos dados referentes ao estudo complementar desse trabalho que ainda não foram publicados), e por isso não foi agente de efeito sobre o TMRR entre as diferentes dietas avaliadas.

Maiores níveis de forragens na dieta elevam o tempo de retenção ruminal devido à taxa de degradação mais lenta da fibra, e a presença de maiores quantidades de fibra nos intestinos reduz o tempo de retenção pós-ruminal por estimular os movimentos peristálticos. Shaver et al. (1988) e Ferreira et al. (1999) observaram que elevações na quantidade de fibra nos intestinos aumentaram o peristaltismo pós-ruminal. Embora os tratamentos apresentassem níveis de fibra semelhantes, a origem e comportamento dessa fibra é diferente de acordo com a fonte lipídica utilizada, principalmente em relação ao tratamento com o caroço de algodão, o que poderia afetar o TMRR em maiores níveis de inclusão dos suplementos lipídicos.

Costa (2008), avaliando fontes lipídicas (controle, grão de soja, grão de soja com formaldeído, óleo de soja e sais de cálcio) também não encontrou diferença significativa ($P>0,05$) entre os valores de taxa de passagem e TMRR nas diferentes dietas para partículas do volumoso e de farelo de soja. Os valores médios encontrados foram 0,052 e 0,064 h^{-1} , para a silagem de milho (cromo) e o farelo de soja (itérbio), respectivamente. Os valores de TMRR foram 38,68 h para a silagem de milho e 25,3 h para o farelo de soja.

Allen (2000) afirmou que os mecanismos pelo qual a suplementação de gordura na dieta afeta o CMS ainda não está devidamente elucidado, mas há evidências de que o seu efeito sobre a fermentação ruminal, motilidade intestinal, aceitabilidade da dieta com suplemento, liberação de hormônios intestinais, mecanismos regulatórios que controlam a ingestão de alimentos e a capacidade limitada dos ruminantes de oxidar os ácidos graxos, sejam as principais razões da inibição de consumo.

O menor valor numérico encontrado de taxa de passagem, embora sem efeito significativo, foi o tratamento com caroço de algodão. Embora também sem significância, o menor valor numérico da taxa de passagem aliada ao maior TMRR para a dieta com caroço de algodão também foi observado por Costa (2009), que utilizando dieta à base de palma forrageira observou que a dieta composta com o caroço de algodão proporcionou tempo de ruminação maior em relação à composta com a casca de soja na alimentação de ovinos. Isso acontece devido à presença do línter do caroço de algodão, que diminui a taxa de passagem, alterando o enchimento ruminal e estimulando a mastigação, o que contribui para o aumento da digestibilidade. Esse línter é composto por celulose de alta degradabilidade (Palmquist, 1995), entretanto segundo Pesce (2008), a fibra do caroço de algodão é tão efetiva no rúmen quanto a de forragens.

A FDN efetiva (FDNe) está relacionada ao somatório das habilidades totais de um alimento em substituir a forragem na ração, de forma que a porcentagem de gordura do leite de vacas consumindo a respectiva dieta seja mantida. Por definição, fatores de efetividade (fe) para FDN podem variar de zero, quando um alimento não tem nenhuma habilidade em manter o teor de gordura do leite, para valores maiores de 1, quando um alimento mantém a porcentagem de gordura do leite. Já a fibra fisicamente efetiva (FDNfe) de um alimento corresponde às propriedades físicas de FDN, principalmente tamanho de partículas, que estimulam mastigação e estabelecem uma estratificação bifásica do conteúdo ruminal, contribuindo para a formação de uma camada flutuante de partículas grandes, denominadas de “mat”, sobre um pool de líquido e

partículas pequenas (Mertens, 1997). O valor de FDNfe dos alimentos está relacionado à concentração de FDN, variação no tamanho de partícula, sendo esses fatores críticos para estimulação da ruminação e motilidade do rúmen (Mertens, 1998).

Bhatti & Firkins (1995) observaram que devido à hidratação e à gravidade específica funcional da sua estrutura, a casca de algodão possui uma rápida taxa de passagem. Esses mesmos autores relataram que a diminuição da taxa de passagem da FDN potencialmente digestível com o aumento da substituição de algodão por silagem de alfafa implica algumas propriedades físicas que aumentam o tempo de retenção (redução da taxa de passagem) das sementes do algodoeiro.

Um valor mais baixo em relação aos demais tratamentos para taxa de passagem do volumoso também foi observado. Em um estudo com cabras fistuladas no rúmen e utilizando o feno de tifton como volumoso, Silva et al (2007) avaliaram fontes lipídicas e verificaram que a suplementação com grão de soja promoveu redução da taxa de passagem de sólidos quando comparado ao óleo de soja, sais de cálcio e dieta controle similar ao presente estudo, e atribuíram o resultado ao teor de fibra contido na casca do grão. O tratamento com grão de soja também apresentou maior tempo de retenção no rúmen, o que foi observado, pelo menos numericamente, no presente estudo, juntamente com o caroço de algodão. O alto conteúdo de hemicelulose e as características estruturais da parede celular de sementes oleaginosas, em que a epiderme apresenta células emparelhadas (Grenet & Barry, 1987; Escalona et al., 1999), contribuem para esse aumento no tempo de permanência, reduzindo a digestibilidade e o valor energético da dieta. Por isso, sugere-se que as características peculiares de sementes oleaginosas sejam levadas em consideração quando as mesmas são utilizadas na sua forma integral.

Sementes de oleaginosas têm sido utilizadas com o objetivo de fornecer energia sem, contudo interferir na fermentação ruminal, uma vez que os ácidos graxos são liberados lentamente da matriz do grão permitindo uma biohidrogenação quase completa. Apesar de no presente estudo os grãos de soja terem sido finamente moídos antes do fornecimento aos animais, expondo os lipídeos da semente ao ambiente ruminal, esse processo não influenciou na taxa de passagem.

Por outro lado, Costa (2008) obteve um menor valor de taxa de passagem no tratamento com óleo de soja, que foi mais acentuado na fração volumosa que na concentrada, e inferiu que o óleo, rico em ácidos graxos poliinsaturados sem nenhuma proteção, pode ter inibido a ação dos

microrganismos que degradam a fibra, tanto pelo efeito tóxico, quanto pela barreira física que o lipídeo forma ao envolver a fibra (Palmquist & Mattos, 2006). Deste modo, maior tempo a digesta permanecerá no rúmen, havendo uma depressão no consumo pelo enchimento ruminal. Esse efeito numérico do óleo de soja foi obtido discretamente na fração concentrada em relação ao grão de soja, sais de cálcio e controle.

Dhiman & Zaman (2001) sugerem que por ser rico em ácidos graxos poliinsaturados, óleos vegetais como é o caso do óleo de soja, não devem exceder o limite de 2% de inclusão na matéria seca da dieta e no máximo 15% no caso de grãos ricos em óleos. Entretanto, Kucuk et al. (2004) também não encontraram diferenças entre taxa de passagem de partículas (média = $0,0297 \text{ h}^{-1}$) com o aumento do óleo de soja e concluíram que dieta restrita de alto concentrado para ovinos pode ser suplementada com óleo de soja em níveis de até cerca de 9% sem afetar negativamente a digestibilidade dos nutrientes, no entanto, a suplementação de cerca de 6% da MS de EE da dieta seria recomendável devido à menor interferência na fermentação observada neste nível de suplementação.

Chalupa et al. (1986) relacionaram consumo de matéria seca, taxa de passagem e conteúdo ruminal em MS e observaram aumento da quantidade de matéria seca ruminal com a inclusão de ácidos graxos de cadeia longa, porém não observaram efeito sobre a taxa de passagem.

Sais de cálcio contêm lipídeos considerados inertes e embora possam se dissociar no rúmen, geralmente não se observa aumento na concentração de ácidos graxos livres a ponto de ocasionar efeito deletério sobre o metabolismo microbiano. Os valores referentes à cinética encontrados com o uso de sais de cálcio nessa pesquisa foram os mais próximos dos valores da dieta controle.

Rosado et al. (1994), em experimento com vacas em lactação recebendo dietas com ou sem sais de cálcio, com dois tipos de volumosos, concluiu que as taxas de passagem não foram afetadas pela presença do suplemento, e sim, pelo tipo de volumoso utilizado. A maioria dos sais de cálcio é fabricada a partir do óleo de palma (*Elaeis guineensis*) e este produto parece ter boa aceitação, uma vez que a maior proporção do ácido graxo saturado palmítico (C16:0) nesses sais não interfere de forma significativa no padrão de fermentação ruminal.

A inclusão de sais de cálcio à dieta geralmente não promove redução na digestão no rúmen (Elmeddah et al., 1991), e mesmo quando ácidos graxos livres da mesma origem tiveram um efeito negativo no processo digestivo. Contudo, a síntese de proteína microbiana tendeu a diminuir (Jenkins & Palmquist, 1984) e uma hidrogenação parcial de ácidos graxos foi observada

(Moller, 1988). Isso provavelmente significa que sais são dissociados no rúmen, ao menos durante o tempo necessário para hidrogenação pelas bactérias. A dissociação aumenta quando o pH do rúmen diminui (Sukhija and Palmquist, 1990).

Em relação ao tratamento sem adição de suplemento lipídico, os valores de taxa de passagem obtidos foram $0,0583 \text{ h}^{-1}$ e $0,0412 \text{ h}^{-1}$ para o concentrado e volumoso, respectivamente.

Cecava & Parker (1993), trabalhando com novilhos alimentados com silagem de milho e concentrado na proporção 62:38, encontraram taxa de passagem de partículas do concentrado marcado com itérbio de $0,0686 \text{ h}^{-1}$, próximo ao encontrado por Burger et al (2000), em condições similares, de $0,0679 \text{ h}^{-1}$ para o farelo de soja e $0,0412 \text{ h}^{-1}$ para a silagem de milho marcada com cromo, acima dos valores encontrados com lantânio nesse trabalho, mas similar ao encontrado para o cromo. Cavalcante et al. (2004) encontraram taxa de passagem de $0,0440 \text{ h}^{-1}$ em bovinos recebendo dietas com 60% de silagem de milho e 40% de concentrado, com infusão de óxido crômico.

Barbi (1991), citado por Campos et al. (2007), sugeriu que a taxa de passagem ruminal para forrageiras estaria em torno de $0,0416 \text{ h}^{-1}$, estando tal valor próximo à média verificada no tratamento sem adição lipídica do presente trabalho. Igualmente citado por Campos et al. (2007),

As discrepâncias entre os valores de γ e principalmente de TMRR verificadas entre o presente estudo e os observados na literatura demonstram a necessidade de obter mais dados de pesquisa sobre a cinética ruminal a fim de se predizer de forma mais adequada o desaparecimento médio dos alimentos no rúmen.

Na Tabela 5, encontram-se os coeficientes de correlação entre as variáveis consumo de matéria seca, consumo de FDN, produção de leite corrigida e os parâmetros relativos ao fluxo ruminal de partículas do volumoso (γ_{CR}) e do concentrado (γ_{LA}).

Tabela 5 – Coeficientes de correlação linear de Pearson entre as variáveis: consumo de matéria seca (CMS – g/kg de peso corporal), consumo de fibra em detergente neutro (CFDN – g/kg de peso corporal), produção de leite corrigida para 3,5% de gordura (PLC – kg/dia), porcentagem de gordura no leite (G - %), parâmetro-taxa tempo-dependente relativo ao fluxo ruminal de partículas do volumoso (γ_{CR} - h⁻¹) e parâmetro-taxa tempo-dependente relativo ao fluxo ruminal de partículas do concentrado (γ_{LA} - h⁻¹)

Variável ^{1 2}	Variável ^{1 2}				
	CMS	G	PLC	γ_{CR}	γ_{LA}
CFDN	0,4418	0,0282	-0,4192	-0,2709	-0,3705
	<i>0,0992</i>	<i>0,9207</i>	<i>0,1199</i>	<i>0,3287</i>	<i>0,1740</i>
CMS	---	-0,0268	-0,0177	0,0659	-0,5610
		<i>0,9243</i>	<i>0,9501</i>	<i>0,8155</i>	0,0296
G		---	0,5560	-0,0334	-0,1861
			0,0314	<i>0,9058</i>	<i>0,5067</i>
PLC			---	0,0484	-0,1055
				<i>0,8641</i>	<i>0,7083</i>
γ_{CR}				---	0,2076
					<i>0,4579</i>

¹ Os valores sub-escritos correspondem aos níveis descritivos de probabilidade para erro tipo I associado às hipóteses: $H_0: \rho = 0$; $\rho \neq 1$. ² Os coeficientes de correlação foram ajustados para os efeitos de animal e período experimental.

Observa-se correlação linear positiva entre consumo de matéria seca e o consumo de FDN somente a 10% de significância ($P < 0,10$), sugerindo que muitos outros fatores também estão envolvidos no controle da ingestão (Forbes, 2007). A porcentagem de gordura no leite se associou positivamente com a produção de leite corrigida ($P < 0,05$), comportamento totalmente previsto e que somente evidenciou que para a obtenção da característica PLC há necessidade de utilização da característica (G).

De forma geral, as taxa de passagem do volumoso (γ_{CR}) e do concentrado (γ_{LA}) apresentaram associações não significativas semelhantes em relação às variáveis CFDN e G. A falta de correlação significativa entre as duas taxas de passagem pode ser explicada pela diferença de estrutura e tamanho entre as fibras marcadas do volumoso e concentrado, e o comportamento particular de cada uma no ambiente ruminal. O único efeito significativo do que diz respeito à taxa de passagem foi uma alta correlação negativa entre a taxa de passagem do

concentrado (γ_{LA}) e O CMS. Contudo, a associação entre essas características não deve ser interpretada de forma direta, uma vez que a ingestão de uma forragem é quase sempre reduzida quando um suplemento concentrado é fornecido, e o nível de concentrado na dieta utilizado no experimento pode ser considerado alto (45% da MS).

Segundo Forbes (2003), normalmente na prática a taxa de substituição da forragem aumenta, quando a taxa de suplementação de concentrado aumenta e há um efeito da proteína que dá origem a esse aumento da taxa de substituição em altos níveis de suplementação. Outra causa deste aumento da taxa de substituição com níveis crescentes de suplemento é a redução na taxa de digestão da fibra com o consumo elevado de concentrado, dando um maior tempo de residência para a fibra no rúmen e, portanto, um maior desconforto para o consumo de matéria seca.

Não houve diferença significativa para todas as outras correlações avaliadas o que indica que outros fatores mais determinantes podem estar influenciando as características estudadas em detrimento das taxas de passagem.

As estimativas dos parâmetros de degradação *in vitro* da FDN das dietas são apresentadas na Tabela 6. Não foram encontradas diferenças significativas da fração potencialmente degradável da FDN (FDN_{pd}) embora os valores encontrados para as dietas suplementadas sejam inferiores em 12,69%, 5,59% e 11,07% para o grão de soja, o caroço e o óleo, respectivamente, quando comparados ao tratamento sem adição de gordura, com exceção dos sais de cálcio, cuja degradação foi 2,93% maior que o mesmo. A fração efetivamente degradada (FED_T) também não foi significativamente diferente entre os tratamentos, embora tenham sido encontrados valores 6,41%, 8,64% e 7,49% inferiores para o grão de soja, o caroço e o óleo, respectivamente, em relação ao controle, e uma fração 2,93% superior à dieta com sais de cálcio. A taxa comum de latência e degradação também foi considerada similar entre todos os tratamentos. Verificou-se menor fração indegradável da FDN (I) nos tratamentos sem adição lipídica e com sais de cálcio (38,47 e 36,61%, respectivamente) em relação aos demais tratamentos. Os valores referentes aos tratamentos GS, CA e OS foram superiores ao C na proporção de 16,88%, 8,21% e 15,04%, respectivamente.

Tabela 6 – Estimativas em porcentagens da fração potencialmente degradável da FDN (B), da fração indegradável da FDN (I), da fração efetivamente degradada em relação à FDN total da dieta (FED_T), além da taxa fracional comum para latência e degradação ($\lambda - h^{-1}$) e a latência discreta para degradação da FDN ($LAG - h$) para os perfis de degradação ajustados para os diferentes tratamentos.

Tratamento	Parâmetro				
	B	I	λ	FED_T	LAG
C	61,53±3,12	38,47±2,62	0,0893±0,0099	46,05	3,15
GS	53,72±2,93	46,28±2,38	0,0975±0,0118	43,10	2,89
CA	58,09±3,18	41,91±2,90	0,0728±0,0083	42,07	3,87
OS	54,72±3,11	45,28±2,58	0,0903±0,0111	42,60	3,12
SC	63,39±3,14	36,61±2,77	0,0838±0,0089	46,92	3,36
Valor-P	0,1151	0,03	0,5402	-	-

C = controle (sem adição de fonte lipídica); GS = grão de soja moído; CA = caroço de algodão; OS = óleo de soja; e SC = sais de cálcio (Megalac-E®).

Os valores de degradação efetiva da FDN, embora não diferentes estatisticamente, indicam que a utilização de lipídeos podem afetar a degradabilidade da fibra na dieta de ruminantes em níveis mais elevados que os usados nesse estudo, e que a proteção do lipídeo através da formação de sais de ácidos graxos é eficiente em evitar a diminuição dessa degradação.

Valinote et al. (2006) observaram, em estudo *in situ* com relação volumoso:concentrado de 81:19 na MS, redução na fração potencialmente degradável da cana-de-açúcar e na degradabilidade potencial e efetiva e constataram que as fontes de lipídios utilizadas (sais de cálcio e caroço de algodão) afetaram, negativamente, a degradação dos carboidratos. As frações potencialmente degradáveis, taxa de degradação e degradação potencial da FDN da cana-de-açúcar foram maiores quando os animais foram alimentados com caroço de algodão, em relação ao sal de cálcio de ácidos graxos, assim como a degradabilidade efetiva. Em contraste, Ruy et al. (1996) afirmam que a utilização de caroço de algodão parece favorecer a degradação da fibra.

Coalho (2004), em um ensaio *in situ* com bovinos canulados suplementados com até 4% de sais de cálcio na dieta com 70% de volumoso, não observou diferença significativa na FDN do feno de Tifton 85 entre os tratamentos ($P>0,05$), indicando que os níveis de sais de cálcio de ácidos graxos não influenciaram na degradação da fibra. O mesmo resultado também foi observado por Aldrich et al. (1997), que avaliaram dietas contendo sais de cálcio de ácidos graxos e caroço de canola integral em duas formas de processamento para novilhos e concluíram que as dietas não tiveram influência na fermentação ruminal e nas características digestivas para

FDN. Coelho (2004) ainda sugere que pode ter ocorrido uma tendência à dissociação dos sais de cálcio de ácidos graxos, sugerindo que o mesmo não foi totalmente inerte no ambiente ruminal, porém essa dissociação foi mínima e não deprimiu a degradabilidade da fibra.

Firkins et al. (1991), avaliando a degradação da fibra *in vitro*, observou que a adição de óleo de soja a 10% não afetou ($P > 0,05$) a digestão da FDN. Possivelmente, o tamanho de partícula pequeno e grande área de superfície da celulose utilizada como fonte de fibra podem ter dispersado a gordura o suficiente para evitar a inibição da digestão da FDN por propriedades ativas de superfície dos ácidos graxos, uma vez que em outros estudos esse grau de suplementação afeta a degradação da fibra.

Krysl et al. (1991) também não encontraram alteração no desaparecimento da FDN da forragem *in situ* em diferentes tempos de incubação com a infusão de 300mL de óleo de soja via rúmen ou duodeno. A extensão e a taxa da digestão da FDN também não diferiram.

Em um estudo com animais canulados alimentados com 50% de silagem de milho e suplementados com até 6% de EE na dieta total através da inclusão de soja grão, Messana (2004) observou que quando os animais receberam 4% de lipídeo na dieta ocorreu redução ($P < 0,05$) da degradação potencial e efetiva da matéria seca da silagem de milho, farelo de soja e soja grão, no entanto as degradabilidades da fibra em detergente neutro não foram afetadas em nenhum tratamento. Embora não tenha ocorrido diferença significativa na degradabilidade da fibra em detergente neutro, O autor observou que há uma redução significativa ($P = 0,02$) na fração insolúvel potencialmente degradável (b) à medida que se aumenta o teor de ácidos graxos insaturados na dieta. Assim, o autor concluiu que o efeito dos teores de ácidos graxos insaturados testados na degradabilidade da fibra é pequeno e na maioria dos ingredientes testados inexistente, desta forma pode se dizer que os teores de lipídeos testados não afetaram a degradação da dieta, assim como observado no presente estudo. Esses resultados também corroboram com os obtidos por Valinote (2003), que conclui que a liberação do lipídeo de sementes oleaginosas é lenta proporcionando pequenas quantidades de lipídeos no ambiente ruminal, o que pode ocasionar uma rápida biohidrogenação evitando assim que acumule ácidos graxos insaturados, evitando que haja prejuízo na degradação ruminal, principalmente da fibra dietética, além da quantidade não ser suficiente para aderir à partícula do alimento, ocasionando impedimento físico aos microorganismos e enzimas microbianas.

5. CONCLUSÕES

A inclusão de suplementos lipídicos nas formas livre, inerte, ou parcialmente protegida, ao nível de aproximadamente 5% da matéria seca, não altera os parâmetros de cinética de trânsito de partículas do volumoso e do concentrado. O tempo médio de retenção no rúmen-retículo (TMRR) também não é influenciado pelos diferentes tratamentos, ao nível de suplementação de gordura utilizado. A degradabilidade *in vitro* da FDN não é afetada pela inclusão de lipídeos nos níveis utilizados no presente estudo.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABEL-CAINES, S.F.; GRANT, R.J.; HADDAD, S.G. Whole cottonseeds or a combination of soybeans and soybean hulls in the diets of lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.80, p.1353-1357, 1997.
- ABREU, C.L. **Avaliação da cinética de trânsito gastrintestinal de volumosos utilizando diferentes modelos matemáticos e indicadores em bovinos**, Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – UFV, Viçosa-MG, 50p., 2008.
- AFERRI, G.; LEME, P.R., SILVA, S.L. et al. Desempenho e características de carcaça de novilhos alimentados com dietas contendo diferentes fontes de lipídios. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.34, n.5, p.1651-1658, 2005.
- ALDRICH, C.G.; MERCHEN, N.R.; DRACKLEY, J.R. et al. The effects of chemical treatments of whole canola seed on lipid and protein digestion by steers. **Journal of Animal Science**, v. 75, p. 502-511, 1997.
- ALLEN, M.S.; MERTENS, D.R. Evaluating constraints on fiber digestion by rumen microbes. **Journal of Nutrition**, Bethesda, v.118, p.261-270, 1988.
- ALLEN, M. S. Effects of diet on short-term regulation of feed intake by lactating dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, v. 83, n. 7, p. 1598-1630, 2000.
- ARAÚJO, A.E. et al. Cultura do algodão herbáceo na agricultura familiar. Embrapa Algodão Sistemas de Produção. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Algodao/AlgodaoAgriculturaFamiliar>> Acesso em 14/06/2010, 2003.

- ASELTINE, M.S. Corn silage quality can vary depending on hybrid planted. *Feedstuffs*, January 25, p.13-15, 1988.
- BARBI, J.H.T. **Avaliação da degradabilidade ruminal de quatro gramíneas tropicais em diferentes idades de corte pela técnica in situ**. Dissertação (Mestrado em Zootecnia), Belo Horizonte-MG, Escola de Veterinária da UFMG, 67 p. 1991.
- BAUMAN, D. E.; LOCK, A. L. Concepts in lipid digestion and metabolism in dairy cows. *Proc. Tri-State Dairy Nutrition Conference*. p. 1-14, 2006.
- BHATTI, S.A.; FIRKINS, J.L. Kinetics of hydration and functional specific gravity of fibrous feed by-products. **Journal of Animal Science**, v. 73, p.1449-1458, 1995.
- BLAXTER, K.L. **The energy metabolism of ruminants**. London, Hutchinson Scientific and Technical, 332p., 1967.
- BURGER, P.J.; PEREIRA, J.C.; SILVA, J.F.C. et al. Taxas de passagem e cinética de degradação ruminal em bezerros holandeses alimentados com dietas contendo diferentes níveis de concentrado. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, n.1, p.225-235, 2000.
- CAMPOS, W.E.; BENEDETTI, E.; RODRÍGUEZ, N.M. et al. Cinética ruminal de vacas leiteiras a pasto consumindo diferentes gramíneas tropicais. **Archivos de Zootecnia**, v. 56, n.216, p.829-837, 2007.
- CAVALCANTE, A.C.R.; PEREIRA, O.G.; VALADARES FILHO, S.C. et al. Dietas contendo silagem de milho (*Zea mays* L.) e feno de capim-tifton 85 (*Cynodon* sp.) em dietas para bovinos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33 (supl. 3), n.6, p.2394-2402, 2004.
- CECAVA, M.J.; PARKER, J.E. Intestinal supply of amino acids in steers fed ruminally degradable and undegradable crude protein sources alone and in combination. **Journal of Animal Science**, v.71(6), p.1596-1605, 1993.
- CHALUPA, W.; RICKABAUGH, B.; HRONFELS, D.S. et al. Rumen fermentation *in vitro* as influenced by long chain fatty acids. **Journal of Dairy Science**, v.67, p. 1439-1444, 1984.
- CHALUPA, W.; VECCHIARELLI, B.; ELSER, A.E. et al. Ruminant fermentation *in vivo* as influenced by long chain fatty acids. **Journal of Dairy Science**, v.69, p. 1293-1301, 1986.
- 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**, v.76, p.2644-2650, 1993.
- COALHO, M. R. **Fermentação e degradabilidade ruminal de dietas com níveis de sais de cálcio de ácidos graxos em bovinos da raça Nelore**. Tese (Doutorado em Zootecnia) – UNESP, Botucatu-SP, 70p., 2004.

- COPPOCK, C.E.; WILKS, D.L. Milk yield, and composition supplemental fat in high energy rations for lactating cows: effects on intake, digestion. **Journal of Animal Science**, v.69, p. 3826-3837, 1991.
- CORRÊA, A. M. V. **Utilização da soja em diferentes formas na alimentação de vacas leiteiras**. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 128 p. 2007.
- COSTA, M. G. **Rações com diferentes fontes de gordura para vacas em lactação**, Tese (Doutorado em Zootecnia) – UFV, Viçosa-MG, 119p., 2008.
- COSTA, S.B.M. **Feno de capim tifton, casca de soja e caroço de algodão como fonte de fibra em dietas à base de palma forrageira para ovinos**, Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – UFFPE, Recife-PE, 44p., 2009.
- DHIMAN, T.R.; ZAMAN, M.S. Manipulação das dietas de vacas em lactação com o objetivo de agregar valor ao leite. In: SIMPÓSIO DE NUTRIÇÃO E PRODUÇÃO DE GADO DE LEITE. **Anais...**, Belo Horizonte-MG, 2001.
- DHIMAN, T.R.; NAM, S.H.; URE, A.L. Factors affecting conjugated linoléico acid content in milk and meat. *Critical Reviews in Feed Science and Nutrition*. v. 45, p. 463-482, 2005.
- DOREAU, M.; CHILLIARD, Y. Digestion and metabolism of dietary fat in farm animals. **British Journal of Nutrition**, v.78, p.15-35, (suppl. 1), 1997.
- EARLEYWINE, T.J. Raw soybeans in dairy rations. In: Annual American Farmers Meeting Association, 49, Proceedings... San Antonio, AAFMA, p.13-15. 1989.
- EASTRIDGE, M.L.; FIRKINS, J.L. Feeding hydrogenated fatty acids and triglycerides to lacting dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.74, p.2610-2616, 1991.
- ELLIOTT, J.P.; DRACKLEY, J.K.; SHAUFF, D.J. et al. Diets containing high oil corn and tallow for dairy cows during early lactation. **Journal of Dairy Science**, v.76, p.775-789, 1993.
- ELLIS, W.C.; MATIS, J.H.; HILL, T.M. et al. Methodology for estimating digestion and passage kinetics of forages. In: FAHEY JR., G.C. (Ed.) **Forage quality, evaluation, and utilization**. Wisconsin: American Society of Agronomy, p.682-756, 1994.
- ELMEDDAH Y.; DOREAU M.; MICHALET-DOREAU, B. Interaction of lipid supply and carbohydrates in the diet of sheep with digestibility and ruminal digestion. **Journal of Agriculture Science**, Cambridge, 116, (In press). 1991.
- ESCALONA, B.; ROCHA, R.; GARCÍA, J. et al. Characterization of in situ fibre digestion of several fibrous foods. **Journal of Animal Science**, v.68, p.217-221, 1999.

- FAICHNEY, G.J. Digesta flow. In: FORBES, J.M.; FRANCE, J. Quantitative aspects of ruminant digestion and metabolism. Commonwealth Agricultural Bureaux, Cambridge University Press, England, p.53-85, 1993.
- FERREIRA, L.A.M.; FONTES, C.M.G.A.; FERNANDES, T.H. A fibra em nutrição animal. **Revista Portuguesa de Ciências Veterinárias**, v.94, n.531, p.119-130, 1999.
- FIRKINS, J. L.; BOWMAN, J. G. P.; WEISS, W. P.; NADERER, J. Effects of protein, carbohydrate, and fat sources on bacterial colonization and degradation of fiber *in vitro*. **Journal of Animal Science**, v. 74, p. 4273-4283, 1991.
- FORBES, J.M. The multifactorial nature of food intake control. **Journal of Animal Science** (Electronic Supplement), v.81, p.E139-E144, 2003.
- FORBES, J.M. A personal view of how ruminant animals control their intake and choice of food: minimal total discomfort. **Nutrition Research Review**, v.20, p.132-146, 2007.
- FRANCO, G. Tabela de composição química dos alimentos. 9. ed. São Paulo:Atheneu, 307p., 2001.
- GOMES, B.V.; QUEIROZ, A.C.; FONTES, C.A.A. et al. Estudo das características físico-químicas de feno e palhas. I. Efeitos sobre a ingestão, digestibilidade aparente e taxa de passagem da matéria seca, pH e concentração de amônia ruminal. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.23, n.3, p.352-365, 1994.
- GONÇALVES, A. L. **Degradabilidade ruminal da fibra e comportamento alimentar em cabras leiteiras recebendo dietas com diferentes relações volumoso:concentrado**. Tese (Doutorado em Zootecnia) – UFV, Viçosa-MG, 83p., 2000.
- GRENET, E.; BARRY, P. Etude microscopique de la digestion des parois végétales des téguments de soja et de colza dans le rúmen. **Reprod. Nutr. Dévelop.**, v.27, p.246-248, 1987.
- GRUMMER, R. R. Influence of prilled fat and calcium salt of palm oil fatty acids on ruminal fermentation and nutrient digestibility. **Journal of Dairy Science**, v. 71, n. 1, p. 117-123, 1988.
- GRUMMER, R.R. Effect of feed on the composition of milk fat. **Journal of Dairy Science**, v.74, p.3244-3257, 1991.
- HARFOOT, C.G.; HAZLEWOOD G.P. Lipid metabolism in the rumen. In: The Rumen Microbial Ecosystem. Hobson e Stewart, editores. Glasgow:Blackie Academic & Professional. p.382-426. 1997.
- HARTNELL, G.F.; SATTER, L.D. Extent of particulate marker (Samarium, Lanthanum and Cerium) movement from one digesta particle to another. **Journal of Animal Science** v.48, p.375-380, 1979.

- HARVATINE, K.J.; ALLEN, M.S. Effects of fatty acid supplements on milk yield and energy balance of lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.89, p.1081-1091, 2006.
- HUHTANEN, P.; KUKKONEN, U. Comparison of methods, markers, sampling sites and models for estimating digesta passage kinetics in cattle fed at two levels of intake. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v.52, n.1/2, p.141-158, 1995.
- JENKINS, T.C.; PALMQUIST, D.L. Effect of fatty acids or calcium soaps on rumen and total nutrient digestibility of dairy rations. **Journal of Dairy Science**, v.67, n.5, p.978-986, 1984.
- JENKINS, T.C.; JENNY, B.F. Effect of hydrogenated fat on feed intake, nutrient digestion, and lactation performance of dairy cow. **Journal of Dairy Science**, v.72, p.2316-2324, 1989.
- JENKINS, T.C. Lipid metabolism in the rumen. **Journal of Dairy Science**, v.76, n.12, p.3851-3863, 1993.
- KLUSMEYER, I. H.; LYNCH, G. L.; CLARK, J. H. et al. Effects of calcium salts of fatty acids and protein source on ruminal fermentation and nutrient flow to duodenum of cows. **Journal of Dairy Science**, v. 74, p. 2206-2219, 1991.
- KOVÁCS, P.L.; SÜDEKUM, K. H.; STANGASSINGER, M. Effects of intake of a mixed diet and time postfeeding on amount and fiber composition of ruminal and faecal particles and digesta passage from the reticulo-rumen of steers. **Animal Feed Science and Technology**, v.71, p.325-340, 1998.
- KOZLOSKI, G.V. Bioquímica dos ruminantes. Editora UFSM, Santa Maria: UFSM, 139p., 2002.
- KRYSL, L. J.; JUDKINS, M. B.; BOHMAN, V. R. Influence of ruminal or duodenal soybean oil infusion on intake, ruminal fermentation, site and extent of digestion, and microbial protein synthesis in beef heifers consuming grass hay. *Journal of Animal Science*, v. 69, p. 2585-2590, 1991.
- KUCUK, O.; HESS, B.W.; RULE, D.C. Soybean oil supplementation of a high-concentrate diet does not affect site and extent of organic matter, starch, neutral detergent fiber, or nitrogen digestion, but influences both ruminal metabolism and intestinal flow of fatty acids in limit-fed lambs. **Journal of Animal Science**, v.82, p.2985-2994, 2004.
- MARQUES, D.C. **Criação de Bovinos**. 7a Ed. Belo Horizonte: CVP – Consultoria Veterinária e Publicações, 586 p., 2003.
- McDOUGALL, E.I. Studies on ruminal saliva. 1. The composition and output of sheep's saliva. *Biochemistry Journal*, v.43, p.99-109, 1949.
- MERTENS, D.R. Dietary fiber components: relationship to the rate and extent of ruminal digestion. *Federation Proceedings*, v.36, n.2, p.187-192, 1977.

- MERTENS, D.R., LOFTEN, J.R. 1987. The effect of starch on forage fiber digestion *in vitro*. **Journal of Dairy Science**, v.63 (9), p. 1437-1446, 1980.
- MERTENS, D.R. Rate and extent of digestion. In: FORBES, J.M.; FRANCE, J. (Eds.). Quantitative aspects of ruminant digestion and metabolism. Wallingford: CAB Publishing, p.13-51. 1993.
- MERTENS, D. R.. Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cattle. **Journal of Dairy Science**. v.80, p.1463-1482, 1997.
- MERTENS, D. R. Why laboratories fail NFTA proficiency tests. Proc. National Forage Testing Association Workshop, Madison, WI. 1998.
- MESSANA, J. D. **Teores de lipídeos em dietas de novilhos nelore sobre parâmetros ruminais, desempenho e características de carcaça**. Tese (Doutorado em Zootecnia) – UNESP, Jaboticabal-SP, 100p., 2009.
- MOLLER, P. D. The influence of high amounts of fat or Ca-soaps to dairy cows on intestinal absorption of fatty acids and digestibility of structural carbohydrates. In: Futterfette in der Tierernahrung. Ed. R. Ziegelitz. Biolinol Futterfette. p.23-40. 1988.
- MOORE, J.A.; POND, K.R.; POORE, M.H. et al. Influence of model and marker on digesta kinetic estimates for sheep. **Journal of Animal Science**, v.70, p.3526-3540, 1992.
- MORA, P.J.G. **Utilização de diferentes níveis de grão de soja cru moído em rações concentradas e determinação de energia líquida da silagem de milho para vacas em lactação**, Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – UFV, Viçosa-MG, 104p., 1995.
- NAGAJARA, T.G., NEWBOLD, C. J.; VAN NEVEL, C. J. et al. Manipulation of ruminal fermentation. In: HOBSON & STEWART (Eds). **The rumen microbial ecosystem**. 2. Ed. Great Britain: Blackie Academic & Professional, p. 523-632, 1997.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. **Nutrient of requirements of dairy cattle**. 7. ed. Washington, D.C.: National Academic Press, 362p., 2001.
- ONETTI, S.G.; SHAVER, R.D.; MCGUIRE, M.A. et al. Effect of type and level of dietary fat on rumen fermentation and performance of dairy cows fed corn silage based diets. **Journal of Dairy Science**, v. 84, p. 2751-2759, 2001.
- ONETTI, S.G.; GRUMMER, R.R. Response of lactating cows to three supplemental fat sources as affected by forage in the diet and stage of lactation: A meta-analysis of literature. **Animal Feed Science and Technology**, v. 115, p. 65-82, 2004.

- ORSKOV, E.R.; McDONALD, I. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. **Journal of Agriculture Science**, Cambridge, v.92, n.2, p.499-503, 1979.
- PALMQUIST, D.L.; JENKINS, T.C. Fat in lactation rations. A review. **Journal of Dairy Science**, v.63, p.1-14, 1980.
- PALMQUIST, D. L. The feeding value of fats. In: ORSKOV, E. R. (Ed.). World animal science. B. Disciplinary approach. 4. Feed Science. Amsterdam: Elsevier, p. 293–311, 1988.
- PALMQUIST, D.L.; Suplementação de lipídeos para vacas em lactação. In: SIMPÓSIO SOBRE NUTRIÇÃO DE RUMINANTES, 6, Piracicaba, **Anais...**, Piracicaba:FEALQ, p. 11-25, 1989.
- PALMQUIST, D. L. Influence of source and amount of dietary fat on digestibility in lactating cows. **Journal of Dairy Science**, v. 74, p. 1354-1360, 1991.
- PALMQUIST, D.L.; Digestibility of lint fiber and whole oilseeds by ruminal microorganisms. **Animal Feed Science and Technology**, V.56, n.3-4 p.231-242, 1995.
- PALMQUIST, D.L.; MATTOS, W.R.S. Metabolismo de lipídeos. In: **Nutrição de Ruminantes**, Telma Teresinha Berchielli, Alexandre Vaz Pires, Simone Gisele de Oliveira (Ed.) – Jaboticabal-SP: Funep, 583 p., 2006.
- PESCE, D.M.C.; **Efeito da dieta contendo caroço de algodão no desempenho, característica quantitativa da carcaça e qualitativas da carne de novilhos nelores confinados**. 138p. Tese (Doutorado)- Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos/Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2008.
- RICHARDSON, L.F.; RAUN, A.P.; POTTER, E.L. et al. Effect of monensin on ruminal fermentation *in vitro*. **Journal of Animal Science**, v.43, p.657-664, 1976.
- ROSADO, M.; CASTRO, A.C.G.; SILVA, J.F.C. et al. Utilização de lipídios complexados com cálcio para vacas em lactação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.29, n.7, p.1159-1165, 1994.
- RUSSELL, J. B.; O'CONNOR, JD.; FOX, D.G. et al. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: i. ruminal fermentation. **Journal of Dairy Science**, v.70, n.11, p.3551-3561, 1992.
- RUY, D.C.; LUCCI, C. de S.; MELOTTI, L.; LIMA, M.L.M. Degradação da proteína e fibra do caroço de algodão integral (*Gossypium hirsutum* L.) no rúmen. **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science**, v.33, p.276-280, 1996.
- SCHAUFF, D.J.; ELLIOTT, J.P.; CLARK, J.H. et al. Effects of feeding lactating dairy cows diets containing whole soybeans and tallow. **Journal of Dairy Science**, v. 75, p. 1923-1935, 1992.

- SHAVER, R.D.; NYTES, A.J., SATTER, L.D. et al. Influence of feed intake, forage physical form, and feces of dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.71, p.1566-1572. 1988.
- SILVA, D.J.; QUEIROZ, A.C. Análise de alimentos: Métodos químicos e biológicos. 3ª ed. Viçosa- MG: UFV, 235 p., 2002.
- SILVA, M.M.C.; RODRIGUES, M.T.; RODRIGUES, C.A.F. et al. Efeito da suplementação de lipídios sobre a digestibilidade e os parâmetros da fermentação ruminal em cabras leiteiras. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.36, n.1, p.246-256, 2007.
- SKLAN, D.; ASHKENAZI, R.; BRAUN, A. et al. Fatty acids, calcium soaps of fatty acids and cottonseeds fed to high yielding cows. **Journal of Dairy Science**, v. 75, n. 9, p. 2463-2472, 1992.
- SNIFFEN, C.J.; ROBINSON, P.H. Microbial growth and flow as influenced by dietary manipulations. **Journal of Dairy Science**, v.70, p.425-441, 1987.
- SOUZA, G.S. Introdução aos modelos de regressão linear e não-linear. Brasília: EMBRAPA-SPI, 505p., 1998.
- SUKHIJA, P. S.; PALMQUIST, D. L.. Dissociation of calcium soaps of long-chain fatty-acids in rumen fluid. **Journal of Dairy Science**. v.73, p.1784-1787, 1990.
- TEIXEIRA, J.C.; HUBER, J.T. Determinação da digestibilidade pós-ruminal da proteína de semente de algodão pela técnica do saco de náilon em vacas leiteiras. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.18, n.4, p.295-305, 1989.
- THIAGO, L.R.L.S.; GILL, M. Consumo voluntário: fatores relacionados com a degradação e passagem da forragem pelo rúmen. Campo Grande, EMBRAPA-CNPGC, 65p. (EMBRAPA-CNPGC. Documentos, 43), 1990.
- UDÉN, P.; COLUCCI, P.E.; VAN SOEST, P.J. Investigation of chromium, cerium and cobalt as markers in digesta. Rate of passage studies. **Journal of Science Food and Agricultural**, v.31, n.7, p.625-632, 1980.
- UEDA, K.; FERLAY, A.; CHABROT, J. et al. Effect of linseed oil supplementation on ruminal digestion in dairy cows fed diets with different forage:concentrate ratios. **Journal of Dairy Science**, v. 86, p. 3999-4007, 2003.
- VAN SOEST, P. J.; ROBERTSON, J. B.; LEWIS, B. A. Methods of dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. **Journal of Animal Science**, v. 74, p. 3583-3597, 1991.
- VAN SOEST, P. J. **Nutritional ecology of the ruminant**. 2.ed. Cornell University Press, Ithaca, New York, 476p., 1994.

- VARGAS L. H.; LANA, R. P.; JHAM, G. N. et al. Adição de lipídios na ração de vacas leiteiras: parâmetros fermentativos ruminais, produção e composição do leite. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 31, n. 1, p. 522-529, 2002.
- VILLELA, S.D.J.; VALADARES FILHO, S.C.; SILVA, J.F.C. et al. Caroço de algodão para vacas leiteiras. 2. Efeito na digestão total e parcial dos nutrientes, taxa de passagem da digesta ruminal e degradação da matéria seca e proteína. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.26, n.1, p.186-194, 1997.
- WALDO, D.R. Effect of forage quality on intake and forage-concentrate interactions. **Journal of Dairy Science**, v.69, p.617, 1986.
- WILLIAMS, C.H.; DAVID, D.J.; IISMAA, O. The determination of chromic oxide in faeces samples by atomic absorption spectrophotometry. **Journal of Agriculture Science**, Cambridge, v.59, n.3, p.381-385, 1962.
- VALINOTE, A.C. **Utilização de lipídios e monensina sobre a fermentação e cinética ruminal e protozoários ciliados de novilhos da raça Nelore**. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga-SP, 92p, 2003.
- VALINOTE, A. C.; NOGUEIRA FILHO, J. C. M.; LEME, P. R. et al. Fontes de lipídio e monensina sódica na fermentação, cinética e degradabilidade ruminal de bovinos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.1, p.117-124, 2006.